

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na
bibliografske podatke, kot je navedeno:

Vilhar, S., 2014. Možnosti izkoriščanja
vodnega potenciala na jezu na
Gruberjevem prekopu. Diplomaska naloga.
Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta
za gradbeništvo in geodezijo. (mentor
Kryžanowski, A., somentor Schnabl, S.):
72 str.

University
of Ljubljana

Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's
bibliographic information as follows:

Vilhar, S., 2014. Možnosti izkoriščanja
vodnega potenciala na jezu na
Gruberjevem prekopu. B.Sc. Thesis.
Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty
of civil and geodetic engineering.
(supervisor Kryžanowski, A., co-
supervisor Schnabl, S.): 72 pp.

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ
VODARSTVA IN
KOMUNALNEGA
INŽENIRSTVA

Kandidat:

SIMON VILHAR

**MOŽNOSTI IZKORIŠČANJA VODNEGA POTENCIALA
NA JEZU NA GRUBERJEVEM PREKOPU**

Diplomska naloga št.: 222/VKI

**THE POSSIBILITIES OF USING THE HYDRO
POTENCIAL ON GRUBER'S CHANNEL GATE**

Graduation thesis No.: 222/VKI

Mentor:

doc. dr. Andrej Kryžanowski

Predsednik komisije:

doc. dr. Dušan Žagar

Somentor:

doc. dr. Simon Schnabl

Ljubljana, 28. 02. 2014

Prazna stran

IZJAVE

Spodaj podpisani Simon Vilhar izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom
Možnosti izkoriščanja vodnega potenciala na jezu na Gruberjevem prekopu.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 7. 2. 2014

Simon Vilhar

Prazna stran

STRAN ZA POPRAVKE ERRATA

Prazna stran

BIBLIOGRAFSKO- DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	556.53:627.8(497.4)(043.2)
Avtor:	Simon Vilhar
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski, univ. dipl. inž. grad.
Somentor:	doc. dr. Simon Schnabl, univ. dipl. inž. grad.
Naslov:	Možnosti izkoriščanja vodnega potenciala na jezu na Gruberjevem prekopu
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – Univerzitetni študij
Obseg in oprema:	72 str., 40 sl., 10 pregl., 5 pril.
Ključne besede:	Gruberjev prekop, zapornica, hidroelektrarna, vplivi na okolje, prag, Ljubljana, Gruber, matrična turbina, pridobljena energija, ocena investicije

IZVLEČEK

V diplomski nalogi so predstavljene možnosti izkoriščanja vodnega potenciala na Gruberjevem prekopu in vplivi predlaganih variant na elemente okolja. V prvem poglavju diplomskega dela sem orisal zgodovinsko ozadje izgradnje Gruberjevega prekopa in zapornice, predstavil vzdrževalna dela na Gruberjevem prekopu ter na kratko opisal obstoječe stanje zapornice in prekopa. V nadaljevanju so predstavljeni predlogi, ki so izdelani na podlagi zahtev Pravilnika za obratovanje in vzdrževanje zapornic na Mestni Ljubljani in Gruberjevem prekopu ter razpoložljivih hidroloških podatkih in rezultatih raziskav na porečju Ljubljane, katerega sestavni del je Gruberjev prekop. V sklopu hidrologije so predstavljeni karakteristični pretoki, linije trajanja pretokov, povratne dobe ter nekatere druge značilnosti porečja. Predstavljeni sta v predlaganih rešitvah uporabljeni tehnologiji za pridobivanje električne energije Hydromatrix in Straflomatrix, ki ju je razvilo avstrijsko podjetje Andritz. V okviru proučevanja različnih variant so opisane tudi organizacija gradbišča in dostopne poti. Poleg tega so dimenzionirani osnovni parametri praga in podslapja. V sklopu analize vplivov na okolje sem preučeval morebitne vplive predlagane ureditve na vodo, zrak in hrup, tla, človeka, živali, rastlinje in grajeno okolje. Izračunana je pridobljena električna energija za vse obravnavane variante, prikazana je razporeditev pridobljene energije glede na pretoke in čas. V nalogi sem ocenil investicijo za vse obravnavane predloge in izračunal dobičke v različnih časovnih obdobjih ter določil dobe vračanja investicije za posamezno rešitev. Na koncu je predstavljen še izbor najustreznejše variante glede na obravnavane in preučene parametre, ki so bili temelj odločanja.

Prazna stran

BIBLIOGRAPHIC- DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	556.53:627.8(497.4)(043.2
Author:	Simon Vilhar
Supervisor:	assist. prof. Andrej Kryžanowski, Ph.D.
Co supervisor:	assist. prof. Simon Schnabl, Ph.D.
Title:	The possibilities of using the hydro potential on Gruber's channel gate
Document type:	Graduation thesis - University studies
Scope and tools:	72 p., 40 fig., 10 tab., 5 ann.
Keywords:	Gruber's channel, gate, hydro power plant, environmental influences, sill, Ljubljana river, Gruber, matrix turbine, gained energy, investment estimation

ABSTRACT

This Graduation's thesis presents the possibilities of using hydro potential on Gruber's channel and their foreseen impact on the elements of environment. In the first chapter, I introduced relevant historical facts concerning Gruber's channel and the gate on Gruber's channel, depicted the historical maintenance works and presented the current situation of Gruber's channel gate. In the following chapters I outlined various possibilities of using hydro potential under the existing Rules for operating and maintaining gates on City Ljubljana River and Gruber's channel. They are based on the available hydrologic data and the results of research performed in Ljubljana river basin, in which Gruber's channel is located. In the scope of hydrology, characteristic flows, flow duration lines, return periods and some other basin data are presented. Hydro power technologies Hydromatrix and Straflomatrix, developed by Austrian company Andritz and used in described solutions, are presented as well. Additionally, I outlined the organization of and access to the construction site as well as dimensioned the basic parameters of sill and stilling basin. In the scope of environmental analysis I assessed the impact of suggested solutions on water, air and noise, soil, human beings, animals, plants and built environment. I calculated the electrical energy gains under all possible solutions and presented findings according to the measured flow and time. Furthermore, I estimated investment costs for all solutions and calculated possible profits made by selling energy. There are also investment return periods presented for every solution. In the final chapter of my Graduation's thesis, I selected the most suitable solution according to researched and processed parameters.

Prazna stran

KAZALO

IZJAVE	III
STRAN ZA POPRAVKE ERRATA	V
BIBLIOGRAFSKO- DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	VII
IZVLEČEK	VII
BIBLIOGRAPHIC- DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IX
ABSTRACT	IX
KAZALO	XI
KAZALO SLIK	XVII
KAZALO PREGLEDNIC	XX
1 UVOD	1
2 ZGODOVINSKO OZADJE	3
2.1 Iniciativa za regulacijska dela	3
2.2 Predhodne ideje o prekopih	3
2.3 Gradnja Gruberjevega prekopa	4
3 OBRATOVANJE GRUBERJEVEGA PREKOPA	6
3.1 Vzdrževalna dela	6
3.1.1 Sanacijska dela v letu 1937	7
3.1.2 Sanacijska dela v 60. in 70. letih 20. stoletja	8
3.2 Plovna pot Ljubljanica - Gruberjev prekop	9
3.3 Projekt za obnovo jezu na Gruberjevem prekopu	10
3.4 Sanacijsko popravilo zapornične table	10
3.5 Dosedanja energetska raba	11
4 OBSTOJEČE STANJE ZAPORNIC	13
5 HIDROLOŠKE ZNAČILNOSTI	15
5.1 Karakteristični pretoki	16
5.2 Modelna preiskava	18

Prazna stran

5.3	Trajanje pretokov	18
6	OBRATOVALNI REŽIM OBSTOJEČIH ZAPORNIC	21
6.1	Cilji obratovanja	21
6.2	Obratovalni pogoji	21
6.3	Normalna stanja	22
6.4	Visoke vode in izjemne razmere	22
6.5	Minimalni in izjemno nizki pretoki	22
7	UREDITEV ZAPORNIČNEGA OBJEKTA	23
7.1	Predstavitev Matrix turbin	23
7.1.1	Značilnosti sistema Hydromatrix	24
7.1.2	Primerjava Hydromatrix in StrafloMatrix turbine	25
7.2	Idejna zasnova variante z obnovo sedanjega jezu in namestitvijo matrix turbine	26
7.2.1	Tehnični opis rešitve in načrti	26
7.2.2	Izračun višine gladine dolvodno od zapornice	28
7.2.3	Dimenzioniranje praga	31
7.2.4	Izbor turbine	34
7.2.5	Energetska izraba obravnavane rešitve	35
7.2.6	Organizacija gradnje	40
7.2.7	Analiza vplivov obravnavanega posega na okolje	41
7.2.8	Ocena investicije in njena upravičenost	46
7.3	Idejna zasnova variante z gradnjo nove zapornice in namestitvijo matrix turbine	48
7.3.1	Tehnični opis rešitve in načrti	48
7.3.2	Izračun višine gladine dolvodno od zapornice	49
7.3.3	Dimenzioniranje praga	49
7.3.4	Izbor turbine	51

Prazna stran

7.3.5	Energetska izraba obravnavane rešitve	52
7.3.6	Organizacija gradnje	57
7.3.7	Analiza vplivov posega na okolje	59
7.3.8	Ocena investicije in njena upravičenost	63
8	IZBIRA NAJUSTREZNEJŠE VARIANTE	66
9	SKLEP	67
VIRI		69

Prazna stran

KAZALO SLIK

Slika 1: Gruberjev prekop (Žargi, 2009)	4
Slika 2: Karlovški most Gabriela Gruberja 1781 (Žargi, 2009)	5
Slika 3: Vojaška karta iz leta 1787 – situacija z zgrajenim prekopom (Vidmar, 2013)	5
Slika 4: Načrt preusmeritve zapore v času izvajanja poglobitve struge Gruberjevega prekopa 1908 (ZAL, 2012)	6
Slika 5: Prikaz kanalizacijskega omrežja z razbremenilniki (Urbinfo, 2013)	10
Slika 6: Stanje zapornične table pred obnovo (Ljubič, 2004)	11
Slika 7: Mala hidroelektrarna na zapornici Gruberjevega prekopa (Ljubič, 2013)	12
Slika 8: Sedanje stanje zapornice – razpadanje betonske konstrukcije in načeta zapornična tabla (pogled dolvodno, marec 2013)	14
Slika 9: Sedanje stanje zapornice (pogled gorvodno, marec 2013)	14
Slika 10: Kamninska sestava (MOPE-GURS, 2003)	15
Slika 11: Rečni režimi (obdobje 1961-90) (Pristov et al, 1998)	16
Slika 12: Krivulja trajanja pretokov prikazuje povprečno število dni, ko je trajal posamezen pretok	19
Slika 13: Primer uporabe Hydromatrix tehnologije, Agonitz, Avstrija (Andritz, 2013)	24
Slika 14: Kriteriji namestitve (prirejeno po Andritz, 2013)	25
Slika 15: Primerjava Hydromatrix in Straflomatrix turbine (Andritz, 2013)	26
Slika 16: Vzдолžni prerez objekta	27
Slika 17: Geometrija struge	30
Slika 18: Skica praga	31
Slika 19: Skica polkrožnega zaključka stebra (Agroskin et al, 1973)	31
Slika 20: Obratovalni diagram – z modrima pikama sta označeni predlagani moči posamezne turbine StrafloMatrix (prirejeno po Andritz, 2013)	35
Slika 21: Časovna razporeditev obratovanja turbine – varianta jezu z dvema poljema in s pretočnostjo elektrarne 10 m ³ /s	36
Slika 22: Skica razporeditve pretokov – primer zapornice z dvema prelivnima poljema	37
Slika 23: Proizvodnja elektrike – primer zapornice z dvema poljema in nameščenim pretokom elektrarne 2 x 5 m ³ /s	38
Slika 24: Časovna razporeditev obratovanja turbine –varianta jezu z dvema poljema in s pretočnostjo elektrarne 20 m ³ /s	39
Slika 25: Proizvodnja elektrike – primer zapornice z dvema poljema in nameščenim pretokom elektrarne 2 x 10 m ³ /s	40
Slika 26: Vodovarstveno območje, z zeleno je označeno območje VVO3 (Urbinfo, 2013)	42

Prazna stran

Slika 27: Opozorilna karta erozije (Atlas okolja, dec 20013)	44
Slika 28: Sulec (Ljubljana povezuje, 2013)	46
Slika 29: Vzdolžni prerez objekta – varianta IIa	49
Slika 30: Vzdolžni prerez objekta – varianta IIb	49
Slika 31: Obratovalni diagram – z modrima pikama sta označeni predlagani moči posamezne turbine Hiydromatrix (za primer jezu z dvema prelivnima poljema je diagram prikazan na Sliki 20) (prirejeno po Andritz, 2013)	52
Slika 32: Skica razporeditve pretokov: primer zapornice s tremi prelivnimi polji (v primeru nove zapornice z dvema prelivnima poljema je skica pretokov enaka kot na Sliki 22)	53
Slika 33: Časovna razporeditev obratovanja turbine –varianta jezu s tremi polji in s pretočnostjo elektrarne 10 m ³ /s	54
Slika 34: Proizvodnja elektrike – primer zapornice s tremi polji in nameščenim pretokom elektrarne 2 x 5 m ³ /s	55
Slika 35: Časovna razporeditev obratovanja turbine –varianta jezu s tremi polji in s pretočnostjo elektrarne 20 m ³ /s	56
Slika 36: Proizvodnja elektrike – primer zapornice s tremi polji in nameščenim pretokom elektrarne 2 x 10 m ³ /s	57
Slika 37: Osuševanje gradbišča z delnim zapiranjem vodotoka	58
Slika 38: Možnosti dostopa	59
Slika 39: Karta hrupa (Urbinfo, 2013)	61
Slika 40: Verjetnost pojavljanja plazov (Atlas okolja, 2013)	62

Prazna stran

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Karakteristični pretoki na vodomerni postaji Moste v obdobju 1961 - 1990 (povzeto po Pristov et al, 1998)	16
Preglednica 2: Trajanje pretokov	19
Preglednica 3: Povratne dobe za vodomerni postaji Vrhnika in Moste (ARSO, 2013)	20
Preglednica 4: W. H. Shen za določanje Manningovega koeficienta (Steinman, 1999):	29
Preglednica 5: Tabelarično določanje višine gladine	30
Preglednica 6: Zaobljenost pragov (Agroskin et al, 1973)	32
Preglednica 7: Primerjava investicije za obstoječi jez.....	47
Preglednica 8: Povrnitev investicije za obnovljen zapornični objekt.....	47
Preglednica 9: Primerjava investicije za nov jez.....	64
Preglednica 10: Povrnitev investicije za nov zapornični objekt v obeh variantah.....	65

Prazna stran

1 UVOD

Izkoriščanje vodnega potenciala je v današnjem času, ko potrebe po energiji rastejo iz dneva v dan, zelo pomembno. Hidroenergija se šteje med obnovljive vire energije in je zato zanimiva tudi s stališča ohranitve okoljskih vrednot. Vodni potencial je smiselno izkoriščati povsod, kjer je to okoljsko sprejemljivo, tehnično izvedljivo in ekonomsko upravičeno.

V diplomski nalogi so obravnavane možnosti energetske izrabe vodnega potenciala na jezu na Gruberjevem prekopu z analizo vplivov umeščanja posega v okolje in prostor. Gruberjev prekop je bil zgrajen leta 1780 z namenom razbremenitve Mestne Ljubljani in regulacije poplav na Ljubljanskem barju. Za uravnavanje gladinskega stanja na Ljubljanskem barju je bila leta 1912 zgrajena zapornica na Gruberjevem prekopu in z enakim namenom leta 1939 tudi zapornica na Mestni Ljubljani na Ambroževem trgu. Njun osnovni namen je zagotavljanje stalne gladine Ljubljani na območju mesta in s tem posledično uravnavanje gladine podtalnice na Ljubljanskem barju, kar vpliva na ohranitev vodnih ekosistemov, stabilnost obrežnih zidov in obrežji vzdolž Mestne Ljubljani ter uravnavanje obsega poplav na Ljubljanskem barju.

Gradbeni del zapornice na Gruberjevem prekopu od njene izgradnje po zbranih podatkih ni bil deležen nobene resne obnove od njene izgradnje naprej. Na strojnem delu zapornice so se med tem izvajala le redna in nujna vzdrževalna dela. Današnje stanje zapornice je zelo slabo: armiranobetonski del konstrukcije je v razpadajočem stanju, po njem se razrašča rastlinje, mehanski del zapornice je zastarel, na nekaterih delih ga očitno napada rja. Sanacija problema zadrževanja vode na Gruberjevem prekopu je nujna, mogočih rešitev pa je veliko.

Vodni potencial Gruberjevega prekopa je bil v preteklosti že izkoriščen, vendar so bile vse ideje iz takšnih in drugačnih razlogov opuščene. Tehnologija izkoriščanja hidroenergije se neprestano razvija in tako je napredovala tudi od zadnjega primera izkoriščanja na Gruberjevem prekopu.

Cilj diplomske naloge je proučiti možnosti izkoriščanja vodnega potenciala na jezu na Gruberjevem kanalu. V sklopu tega je potrebno proučiti vodni potencial Ljubljani, optimirati obratovalni režim zapornic na Gruberjevem prekopu in Ambroževem trgu glede na obratovalne zahteve strojne opreme in temu primerno zasnovati rekonstrukcijo jezovne zgradbe na Gruberjevem prekopu. Proučiti je potrebno tudi vplive predlaganih rešitev na okolje. V sklopu tega je bila narejena analiza vplivov na okolje za nameravani poseg.

Nadaljnje je potrebno oceniti stroške investicije in čas pokritja investicije. Za potrebe teh izračunov je potrebno izračunati količino pridobljene energije in oceniti investicijske in obratovalne stroške.

2 ZGODOVINSKO OZADJE

Ideja za regulacijo Mestne Ljubljani je zelo stara in ima zametke v času srednjega veka. Razlogi za to so tičali v vsakoletnih poplavah Ljubljanskega barja in pogostih poplavah, ki so prizadele hiše vzdolž Mestne Ljubljani. » Mestno močvirje nikoli ni prehodno s konjem ali peš. V visokem poletju in ob suši so do neke razdalje dostopna okoliška področja, ki jih uporabljajo kot travnike. V času poplav je vse območje pod vodo, tako da se morajo ljudje reševati in zapuščati svoje hiše. Poplava traja spomladi do sredine maja, včasih tudi dlje; jeseni ni tako hudo, vendar glede na deževno vreme « (Rajšp et al, 1996, citirano po Žargi, 2009).

Omenjenemu problemu se je posvetil tudi Janez Vajkard Valvasor v svoji Slavi vojvodine Kranjske. Valvasor poroča o pogostih in obsežnih poplavah na Ljubljanskem barju. Po njegovih besedah so bile poplave na Barju dnevna praksa, obsežnejše pa v letih 1190, 1537 in 1589. Vzrok za poplavljanje Ljubljanskega barja je bil po Valvasorjevih besedah nezadosten odtočni profil reke Ljubljani skozi mesto (Žargi, 2009).

2.1 Iniciativa za regulacijska dela

Iniciativo za regulacijska dela na področju Ljubljanskega barja je leta 1544 dal cesar Ferdinand I. V Ljubljano je zato poklical italijanska gradbena mojstra Stephana de Grandi iz Bologne in Niclasa Vendaholo iz Mantove. Predvidela sta izkop kanala med Gradom in Golovcem. Kanal bi imel vlogo odvajanja vode z Barja in vlogo obrambnega jarka pred vpadi Turkov. Izdelan je bil tudi model za 1216 m dolg in 6,75 m širok prekop, a je zaradi prevelikih stroškov vse ostalo le na papirju (ZAL, 2012).

2.2 Predhodne ideje o prekopih

Prekop za gradom je leta 1667 načrtoval tudi deželni pisar in študent ljubljanskih jezuitov Wolfgang Markovič, ki je predlagal bistveno ožji in tudi cenejši prekop. Tudi njegova ideja ni bila uresničena (Haller, 1969).

V letih med 1737 in 1741 so na povabilo barona Ignaca Apfaltererja tok Ljubljani in Save proučevali vojaški inženirji Ernest Wenzel Durchlasser, Friedrich Conrad Renner in Abraham Kaltschmidt. Leta 1735 so začeli z deli na ljubljanskem prekopu, štiri leta pozneje pa so svoj načrt natisnili v bakrorezu. Investicija naj bi se z ladijskim prometom kmalu povrnila, vendar

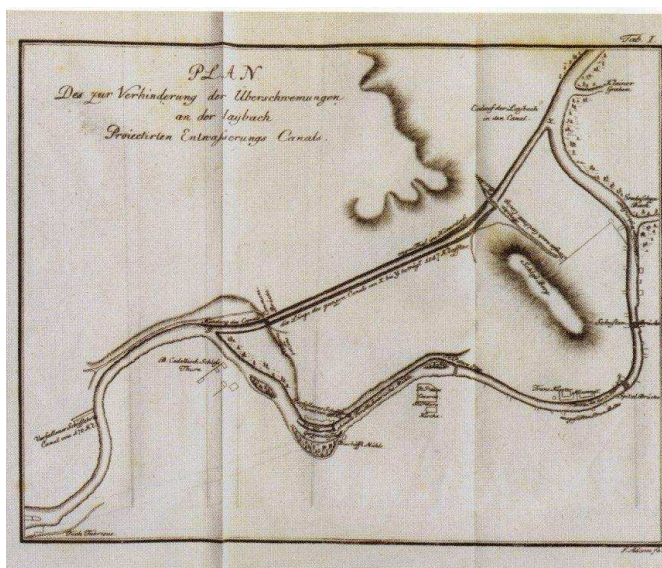
se to ni zgodilo. Razlog je po Gruberjevem mnenju tičal v nestrokovnosti izvedbe (Južnič, 2005).

Šele leta 1760 se je ponovno začelo govoriti o osuševanju Barja. Posebna dvorna komisija za izsuševanje Barja je bila imenovana leta 1770. Sestavljali so jo inženir Liberius iz Ljubljane, Gruber in jezuit Giovanni Antonio Lecchi. Slednji je zagovarjal rešitev s poglobitvijo in širitvijo struge reke Ljubljanice brez razbremenitvenega kanala. Gruber je zagovarjal prekop, saj naj ne bi bil dražji od Lecchijeve rešitve, poleg tega pa ta rešitev ne bi ogrožala stavb ob reki. Lecchi je obširno kritiko kanala objavil šele leta 1773, ko so bila dela na kanalu že v polnem teku (Haller, 1969).

2.3 Gradnja Gruberjevega prekopa

Gruber je s predstavitvijo in ob pomoči deželnega profesorja Siegmunda Huberta in majorja Vincenca Strupija dosegel, da so oblasti 9. 3. 1771 prižgale zeleno luč za gradnjo prekopa in zagotovile potreben denar (Južnič, 2004) .

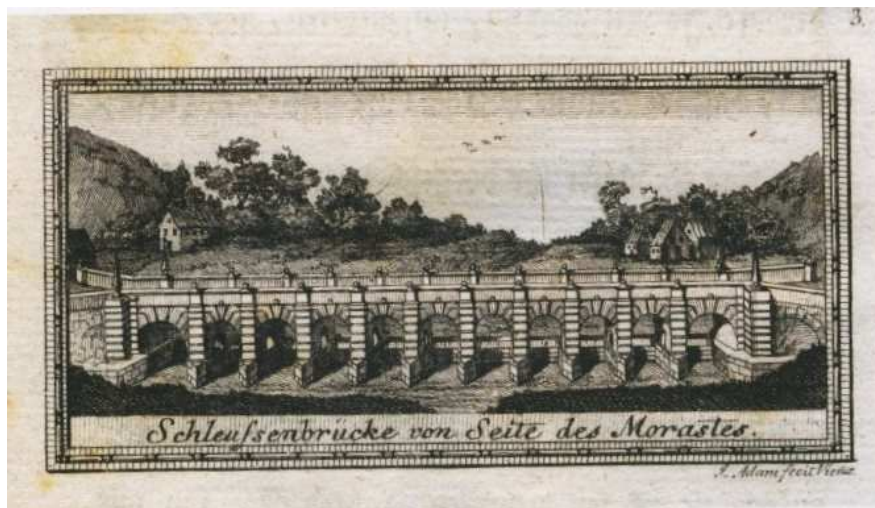
Leta 1772 je bil pripravljen načrt, po katerem bi poglobili strugo Ljubljanice in izkopali razbremenitveni prekop (Žargi, 2009 - Slika 1). Istega leta so stekla dela na prekopu. Gruber je zaradi pomanjkanja strokovnjakov sam nadzoroval dela na prekopu.



Slika 1: Gruberjev prekop (Žargi, 2009)

Med gradnjo se je srečeval s številnimi problemi. Gradnja je potekala na razmočenem barjanskem terenu, podtalni izviri so dvigovali šotno dno in slabo nosilno dno je oviralo

gradnjo. Gruber je izkopal 465 m prekopa in postavil most z enajstimi loki in zapornicami (Žargi, 2009 – Slika 2).



Slika 2: Karlovški most Gabriela Gruberja 1781 (Žargi, 2009)

Pri gradnji je Gruber za več kot dvakrat prekoračil proračun in bil 10. 12. 1777 odstavljen. Dela na prekopu je prevzel major Strupi. Nadaljevanje del je bilo bistveno lažje, saj je bil zahtevnejši del že izveden. Tako so se dela na prekopu končala 25. 11. 1780. Razbremenilni prekop, ki je med Grajskim hribom in Golovcem povezoval današnje območje Špice in Kodeljeva, je bil dolg 2000 m in pri dnu širok približno 33 m na vrhu pa približno 66 m (Uhlir, 1956). Ko so v prekop spustili vodo, se je gladina na Ljubljanskem barju znižala za 70 cm. Nekateri deli Ljubljanskega barja so tako postali primerni za obdelovanje, predvsem pa se je zaradi večjega pretoka vode skozi Ljubljano povečala poplavna varnost (Slika 3).



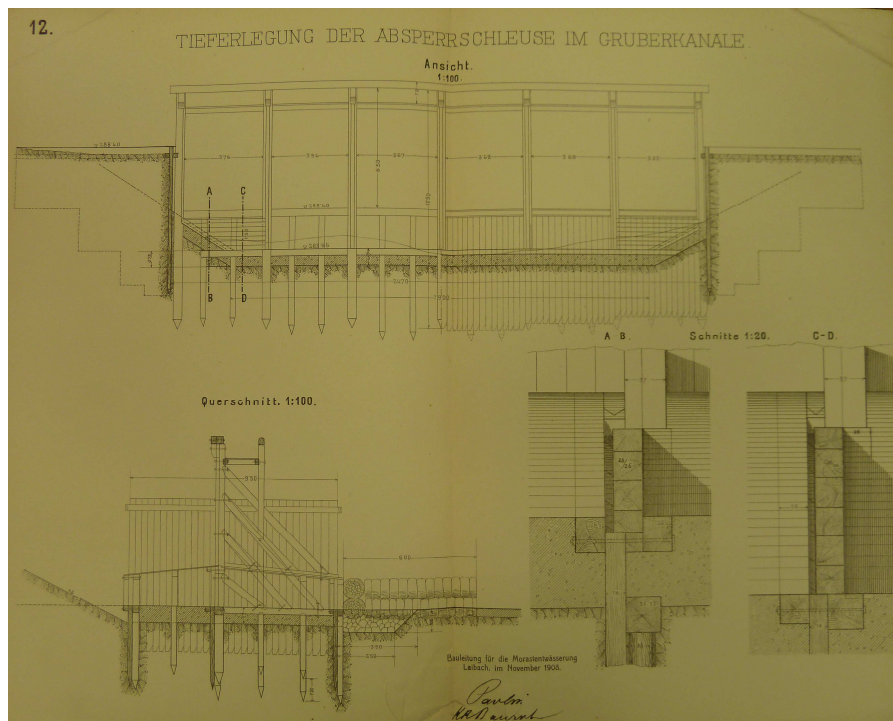
Slika 3: Vojaška karta iz leta 1787 – situacija z zgrajenim prekopom (Vidmar, 2013)

3 OBRATOVANJE GRUBERJEVEGA PREKOPA

3.1 Vzdrževalna dela

Učinek dograditve Gruberjevega prekopa je bil očiten, vendar še vedno ni zagotavljal poplavne varnosti Barja in Ljubljane. Tako so se že kmalu po njegovem dokončanju i začela nova načrtovanja in modifikacije prekopa. Manjša vzdrževalna dela so se tako izvajala v letih 1807, 1819, 1821 in 1928. Leta 1825 so preusmerili tok Ljubljanice v novo strugo, ki poteka od Poljanskega nasipa do Sel, staro strugo do Kodeljevega pa so zasuli. Tako je preostanek nekdanje struge Ljubljanice postal del Gruberjevega prekopa s skupno dolžino približno 3200 m. Načrt za večjo izboljšavo je sledil v letu 1857, ko je bila odobrena poglobitev prekopa. Poglobitev je bila končana v letu 1867 (Haller, 1969).

Leta 1881 je inženir Podhagsky pričel s projektiranjem del za osuševanje Barja (ZAL, 2012). Predvidel je ureditev Ljubljanice in Gruberjevega prekopa, da bi bilo mogoče odvajati zadostne količine vode. Mejni pretok je postavil pri $470 \text{ m}^3/\text{s}$, znižanje gladine na Barju pa naj bi doseglo 2 m. Dela so se začela šele v letu 1910, saj je bilo financiranje odobreno šele leta 1906. Dela na Gruberjevem prekopu so bila končana leta 1912 (Slika 4).



Slika 4: Načrt preusmeritve zapore v času izvajanja poglobitve struge Gruberjevega prekopa 1908 (ZAL, 2012)

V vmesnem času so strokovnjaki dokazali, da se šote na Barju ne sme odstraniti in da se mora gladina vode na Barju vzdrževati na koti 287,3 m nad morjem. Zaradi teh ugotovitve, je bilo potrebno na Ljubljani in Gruberjevem prekopu postaviti jezova. Eden izmed razlogov za gradnjo jezov je bilo več kot 10 sušnih let v zadnjih 20 letih 19. stoletja in posledično sesedanje bregov Ljubljanice.

Jez na Gruberjevem prekopu je bil postavljen leta 1912 približno 400 m dolvodno od Karlovškega mostu. Jezovna zgradba je zidana konstrukcija s prelivnimi polji širine 11,1 m, ki so razmejeni s stebri. Stebre povezuje mostna konstrukcija, na kateri so pogoni za upravljanje z zapornico. Na prelivnih poljih sta nameščeni tablasti zapornici z jekleno nosilno konstrukcijo. Stranska stebra sta široka 2,25 m, srednji steber pa 2 m. Na vseh stebrih so nameščeni utori za namestitev pomožne zapornice v primeru sanacije glavne zapornične table ali praga. Poleg zapornice so bili zgrajeni močnejši oporni zidovi in tlakovane brežine s kamnitim tlakom. Prelivni del v območju zapornice je v betonski izvedbi. Debelina plošče gorvodno od zapornice je 0,5 m, dolvodno pa se debelina poveča na 1 m (Globokar et al, 1994).

Po dograditvi jezu in hkratni sanaciji brežin in opornih zidov je bilo vzdrževanje Gruberjevega prekopa omejeno na nujna dela. Leta 1914 sta bila tako zabetonirana dva tolmana, ki sta močno ogrožala brežine. Naslednja erozijska območja so bila ugotovljena leta 1918, vendar niso bila sanirana. Prekop je bil dobri dve desetletji močno preobremenjen, čeprav naj bi služil le kot razbremenilnik. Terenska tehnična sekcija za regulacijo Ljubljanice je v obdobju med leti 1932 in 1937 ugotovila velika erozijska območja na dnu nenadzorovanega dela struge, ki so bila posledica velike vodne erozije (Globokar et al, 1994).

3.1.1 Sanacijska dela v letu 1937

Julija leta 1932 je bil izdelan projekt za sanacijo Gruberjevega prekopa. Predvidena je bila sanacija nastalih poškodb in preprečitev nadaljnjega škodljivega delovanja vode. Načrtovani so bili prečni kamniti pragovi na razdalji približno 100 m vzdolž celega prekopa in sanacija poškodovanih zaščitnih oblog iz kamna na brežinah. Izboljšati ali izdelati je bilo potrebno zavarovanje brežin s kamnitimi oblogami, predvideni so bili novi dostopi do prekopa. Načrtovana je bila nova čuvajnica, pleskanje zapornic ter namestitev limnigrafa. Izdelan je bil tudi projekt za zasip nevarnih tolmunov, ki so ogrožali stabilnost obrežnih zidov.

Izvedba načrtovanih del je potekala od junija do novembra leta 1937. Zasuta sta bila dva največja tolmana med Karlovškim mostom in zapornico. Kasneje je bil zasut še en tolmun, a

zaradi pomanjkanja materiala (material od rušenja hiš) ni bil zasut do nivoja regulirane nivelete prekopa (Globokar et al, 1994).

3.1.2 Sanacijska dela v 60. in 70. letih 20. stoletja

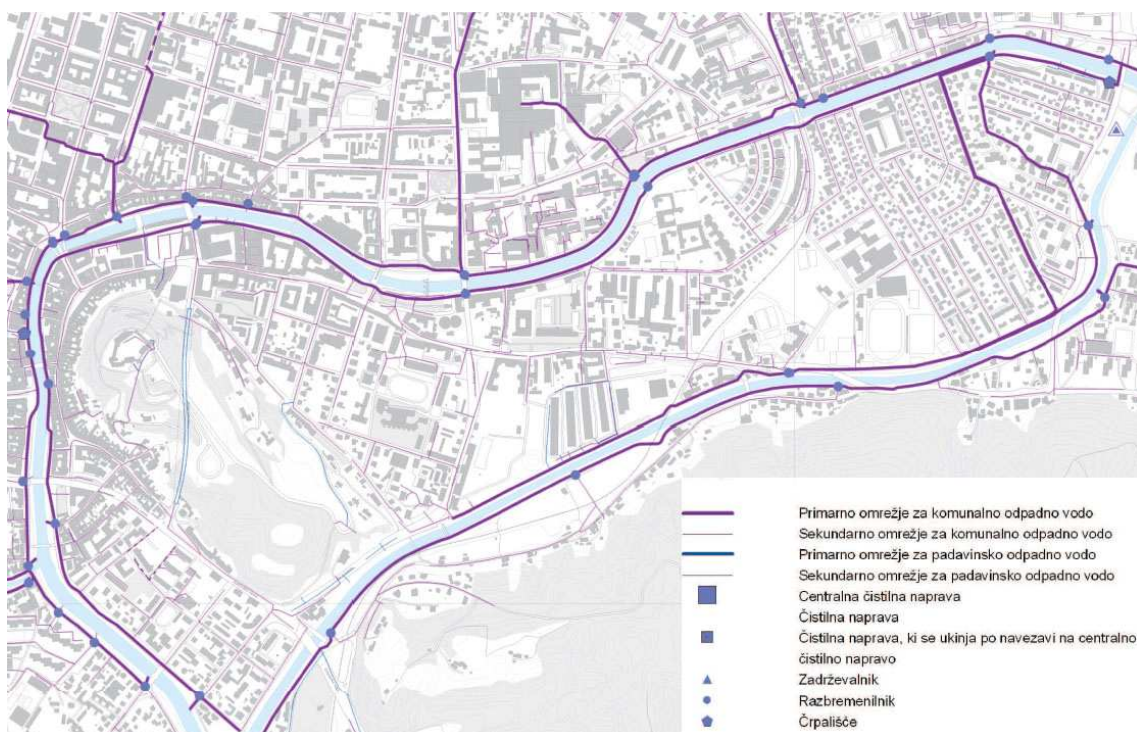
Med vojno in v času takoj po njej se razen nekaterih intervencijskih del na Gruberjevem prekopu niso izvajala nobena dela. V letih 1959 in 1961 je podjetje Projekt nizke zgradbe izdelal idejni načrt za melioracijo Ljubljanskega barja oziroma Ljubljanice. V sklopu načrta je bila v več variantah rešena tudi ureditev celotnega Gruberjevega prekopa. Tudi v letu 1968 je bila projektirana sanacija Gruberjevega prekopa, in sicer v prvi fazi med Špico in jezom, v drugi fazi pa med jezom in izlivom Gruberjevega prekopa v Ljublanico. V tem času je bil tlak brežin ponekod popolnoma zamuljen in zaraščen. Drevesa večjih premerov so rasla direktno iz tlakovane brežine, ki je bila deloma porušena, brežina izven pretočnega profila pa je bila polna smeti. Poleg naštetega je obstajala nevarnost plazjenja Grajskega hriba in posledična zaježitev struge Gruberjevega prekopa. Geotehnične raziskave so pokazale, da za zaježitev struge Gruberjevega prekopa ne obstaja neposredna nevarnost, priporočeno pa je bilo nadaljnje opazovanje premikov terena in opazovanje podtalnice. V letu 1968 je bila opravljena sanacija oziroma vzdrževalna dela na jezu na Gruberjevem prekopu. Takrat je bil izdelan nadstrešek nad mostno konstrukcijo, rekonstrukcija zapornic, zamenjana so bila ohišja reduktorjev in strojnih delov zapornice, opravljena so bila pleskarska dela ter prenova električne opreme. Na novo je bila položena asfaltna obloga hodnikov in ploščadi, zamenjan je bil talni prag, očiščene so bile brežine v neposredni bližini jezu, okoliško rastje je bilo posekano in pokošeno. Na podlagi omenjenih projektov je bila v letu 1969 izvedena sanacija betonskih obrežnih zidov gorvodno od jezu zaradi poroznosti zidov in odpadanja agregata. Poleg tega so bile po celi dožini prekopa očiščene brežine, posekano in izkopano polomljeno drevje in drevje, ki je raslo na tlakovani brežini. Prav tako je bil izkopan zaraščen in zasut tlak ter mestoma sanirane poškodovane tlakovane brežin in močno napredovana erozija dna. Navedena dela so bila izvedena kot vzdrževalna dela v prvi fazi. Druga faza, sprejeta leta 1970, je predvidela sanacijo dna Gruberjevega prekopa. Padec nivelete dna je bil predviden pri 1,14 %, kota nivelete pri Špici pa 283,1 m, kar je enako niveleti urejene Ljubljanice. Večji tolmoni so bili zasuti s savskim gramozom oziroma podobnim materialom, dno pa obloženo z grobim lomljencem. Pas 30 cm do nivelete ni bil zasut. Leta 1971 so bila dela nadaljevana dolvodno od jezu do železniškega mostu. Izvedeno je bilo zasutje poglobitev dna in kamena zložba za utrditev dna prekopa (Globokar et al, 1994).

3.2 Plovna pot Ljubljana - Gruberjev prekop

Leta 2000 je Vodnogospodarski inštitut izdelal študijo z naslovom Plovna pot Ljubljana – Gruberjev prekop – Ljubljana, ocena možnosti realizacije (Jurančič et al, 2000). V tej študiji je bilo ugotovljeno, da je ob sedanjem režimu spodnji del Ljubljane in Gruberjevega prekopa plovni približno 1 mesec v letu. S predlagano gradnjo jezu na sotočju Ljubljane in Gruberjevega prekopa, bi se gladina umetno dvignila in plovba podaljšala na vsaj 10 mesecev v letu (upoštevati je potrebno omejitve plovbe pri pretokih višjih od 100 m³/s).

Drug problem izpostavljen v študiji predstavljata oba jezova na Ljubljani. Za jez na Gruberjevem prekopu obstaja možnost, ki je za plovbo nujna, da se ga prestavi približno 150 m dolvodno od železniškega mostu in se ga uredi kot splavnico. Po drugi strani pa jez na Ambroževem trgu zaradi kulturno-zgodovinske vrednosti ni mogoče korenito spreminjati, zato je tu splavnica predvidena na dodatnem plovnem rokavu na desnem bregu. Poleg jezov predstavljajo problem tudi mostovi, ki so komaj dovolj visoki za nemoteno plovbo.

Morda še večji problem kot jez in mostovi pa lahko predstavlja morebitna zaježitev sedanjega kanalizacijskega sistema. Glavni kanalizacijski zbiralniki namreč potekajo vzdolž obeh krakov Ljubljane do čistilne naprave v Zalogu (Slika 5). Vzdolž zbiralnikov so zgrajeni številni razbremenilniki, ki razbremenijo kanalizacijski sistem v primeru močnih nalivov. V primeru umetne zaježitve Ljubljane bi se reka lahko prelivala v razbremenilnike in naprej v sistem. Analiza ogroženosti razbremenilnikov je pokazala, da je sistem ogrožen že sedaj pri pretokih večjih od 100 m³/s. Iz tega razloga je predvidena sanacija sistema v sklopu Generalnega projekta razvoja kanalizacijskega sistema Ljubljane, v katerem je predviden dvig prelivnih kot na razbremenilnikih in vgradnja nepovratnih zaklopk na najbolj kritičnih mestih (Urbinfo, 2013 – Slika 5).



Slika 5: Prikaz kanalizacijskega omrežja z razbremenilniki (Urbinfo, 2013)

3.3 Projekt za obnovo jezu na Gruberjevem prekopu

V letu 2000 je Vodnogospodarski inštitut izdelal projekt za pridobitev gradbenega dovoljenja za obnovo zapornic na jezu na Gruberjevem prekopu. V dokumentaciji je bilo ugotovljeno, da sta objekt in oprema dotrajana do te mere, da sanacija ni mogoče. Predlagana je gradnja novega objekta in montaža sodobne hidromehanske opreme. Lokacija novega objekta bi ostala nespremenjena, saj je sedanja lokacija ugotovljena kot najbolj primerna. Predvideni sta bili dve pretočni zapornični polji s sistemom kotalne zapornice in zaklopke. Tak sistem je bil predviden zaradi lažjega vzdrževanja kote zajezitve in za odplavljanje naplavin, ki se naberejo gorvodno od jezu (Kovačič et al, 2000).

3.4 Sanacijsko popravilo zapornične table

Ker projekt iz leta 2000 ni bil uresničen, vzdrževalna dela pa so bila za obratovanje zapornice nujno potrebna je podjetje Hidrotehnik skupaj s podjetjem Montavar Projekt leta 2004 izvedlo sanacijo leve zapornične table na zapornici (Ljubič, 2004). Popravilo je bilo opravljeno s pomočjo visečega odra in je bilo dokončano konec aprila leta 2004 (Slika 6).



Slika 6: Stanje zapornične table pred obnovo (Ljubič, 2004)

3.5 Dosedanja energetska raba

Ideja o izkoriščanju energije na Gruberjevem prekopu ni nova. Leta 1991 je gospod Željko Kokolj dobil od Občine Ljubljana center dovoljenje za namestitev tipskega agregata 60 kW na zapornico na jezu na Gruberjevem prekopu. Podatka o tem, ali je bil takšen agregat v resnici nameščen, nisem uspel pridobiti. Nekoliko kasneje je bila mala hidroelektrarna na zapornici na jezu Gruberjevega prekopa vseeno postavljena. Postavil jo je že omenjeni gospod Željko Kokolj in njegovo podjetje Hidroenergija, d. o. o. (Kokolj, 2013). Elektrarna je bila domače izdelave in je imela inštalirano moč 3×10 kW. Mala hidroelektrarna je delovala z dovodom vode na turbino po principu sifonskega preliva z dotokom. Celotni padec vode od zajema do izpusta je znašal 2 m. Glede na fotografijo turbine predvidevam, da gre za tip Francisove turbine, tega podatka pa žal ni bilo mogoče preveriti (Slika 7). Povprečna letna proizvodnja električne energije je bila 150 MWh. Skupna masa nameščene tehnologije je bile približno 3 tone in pol (Kokolj, 2013). Elektrarno je lastnik kasneje odstranil, razlogi za njeno odstranitev pa mi kljub poizvedovanju niso bili natančno razjasnjeni. Najpogosteje sta se omenjala prevelika masa opreme (v kombinaciji z zastarelo in težko manipulativno zapornico) ter hrup elektrarne, ki je negativno vplival na okolico in ljudi, ki živijo v neposredni bližini zapornice. Kasneje je imel lastnik male hidroelektrarne težave tudi s pridobitvijo koncesije. Upravitelj zapornice podjetje Hidrotehnik namreč ni dovolilo obnovitve koncesije, zaradi neizpolnjevanja pogojev za njeno dodelitev.



Slika 7: Mala hidroelektrarna na zapornici Gruberjevega prekopa (Ljubič, 2013)

Kljub odstranitvi predstavljene male hidroelektrarne je smiselno izkoristiti energetski potencial jezu na Gruberjevem prekopu. Izbrati je potrebno takšno strojno opremo energetskega objekta, da bo v največji možni meri ustrezala obratovalnim zahtevam na jezu na Mestni Ljubljanici in Gruberjevem prekopu, hidrološkim in hidravličnim značilnostim Ljubljanice in Gruberjevega prekopa in hkrati kar se da minimalno vplivala na parametre okolja, kvaliteto in kakovost bivanjskega prostora ljudi in tu živčih organizmov.

4 OBSTOJEČE STANJE ZAPORNIC

Zapornični objekt na Gruberjevem prekopu je bil postavljen leta 1912. Njegova naloga je vzdrževanje nivoja vode Ljubljanice in posledično nivoja podtalnice na Ljubljanskem barju. Lokacija zapornice je v km 2+290, kar pomeni približno 400 m dolvodno od Karlovškega mostu.

Pomembnejši elementi postavljenega objekta so (Kovačič et al, 2000):

- prag zapornice na koti 282,75 m n.m.v.
- dve pretočni polji širine 11,10 m z vmesnim stebrom širine 2 m
- vrh zapornice je na koti 287,3 m n.m.v., kar je tudi prvotna zaježitev
- sedanja zaježitev je na koti 285,60 m n.m.v.
- tabla zapornice je iz enega kosa, kar predstavlja velik problem, saj je sedanja kota zaježitve nižja od prvotne, zaradi česar je otežena manipulacija z zapornico (onemogočeno je prelivanje preko zapornice, dvig zapornice je težaven)
- v območju objekta so obojestranski obrežni zidovi ter prehodi iz trapeznega profila v pravokotnega in obratno
- za oskrbo in manipulacijo z zapornicami se uporablja pokrito mostišče na zgornji pohodni ploščadi, kjer so nameščene dvigalne naprave.

Sedanje stanje zaporničnega objekta je kritično. Kot je razvidno iz slik 8 in 9 je betonski del zaporničnega objekta že zelo dotrajana. Od betonski delov stebrov, mostišča in od stranskih opornikov odpadajo omet in kosi betona, na več mestih je opaziti vremenskim vplivom izpostavljeno armaturo. Na več mestih konstrukcije se razrašča mah in podobne rastline. S svojim koreninskim sistemom še dodatno pospešujejo razpadanje že sicer zelo načete konstrukcije. Tudi zapornični tabli in dvižni mehanizem so že močno dotrajani. Na več mestih je vidna rja, luknje, nastale zaradi njenega delovanja, je potrebno krpati vsakih nekaj let. Dvižni mehanizem je zastarel in neprimeren za pravočasno ukrepanje ob manipulaciji z zapornico (sedanje stanje, marec 2013). Manipulacija z zapornico ni avtomatizirana. Pogoni za dviganje in spuščanje zapornic se vklaplajo in izklaplajo ročno, kar pomeni, da mora to ob vsaki manipulaciji z zapornico opraviti delavec na objektu samem. Poleg dotrajanosti samega objekta in njegove hidromehanske opreme pa je potrebno opozoriti na zapornično tablo, ki je projektirana za prvotno gladino zaježitve in je zaradi tega 2,10 m previsoka. Zaradi previsoke zapornične table je močno oteženo upravljanje z zapornico, prelivanje vode preko nje pa je onemogočeno. Zaradi omenjenih razlogov je nujno potrebna sanacija zaporničnega objekta ali gradnja novega na isti ali drugi lokaciji.



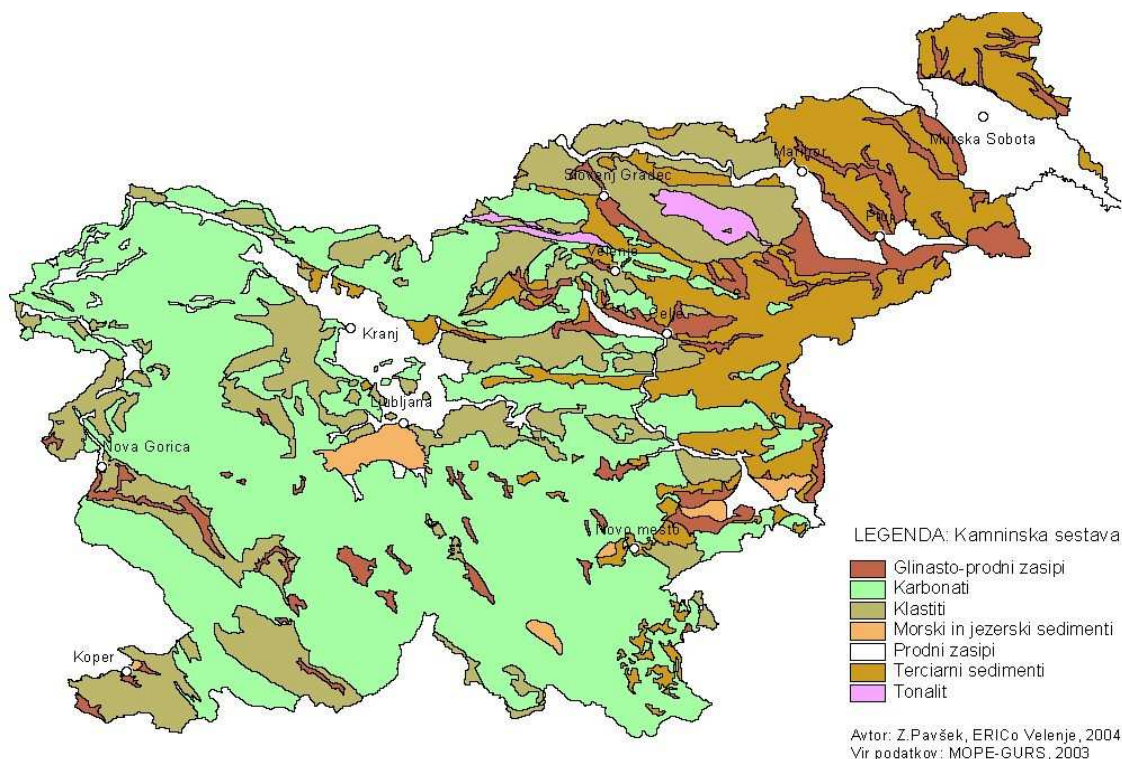
Slika 8: Sedanje stanje zapornice – razpadanje betonske konstrukcije in načeta zapornična tabla
(pogled dolvodno, marec 2013)



Slika 9: Sedanje stanje zapornice (pogled gorvodno, marec 2013)

5 HIDROLOŠKE ZNAČILNOSTI

Porečje Ljubljanice je pretežno grajeno iz močno razpokanih, zakraselih in prepustnih karbonatnih kamnin dolomita in apnenca. Na porečju Ljubljanice je iz manj prepustnih kamnin sestavljeno samo ozemlje, ki pripada delu Polhograjskih Dolomitov. Ljubljanska kotlina je prekrita s plastjo kvartarnega proda in konglomerata, med njima se nahajajo večji ali manjši vložki gline. V prodnem zasipu so zaloge podtalne vode, ki se izkoriščajo za vodooskrbo (Slika 10).



Slika 10: Kamninska sestava (MOPE-GURS, 2003)

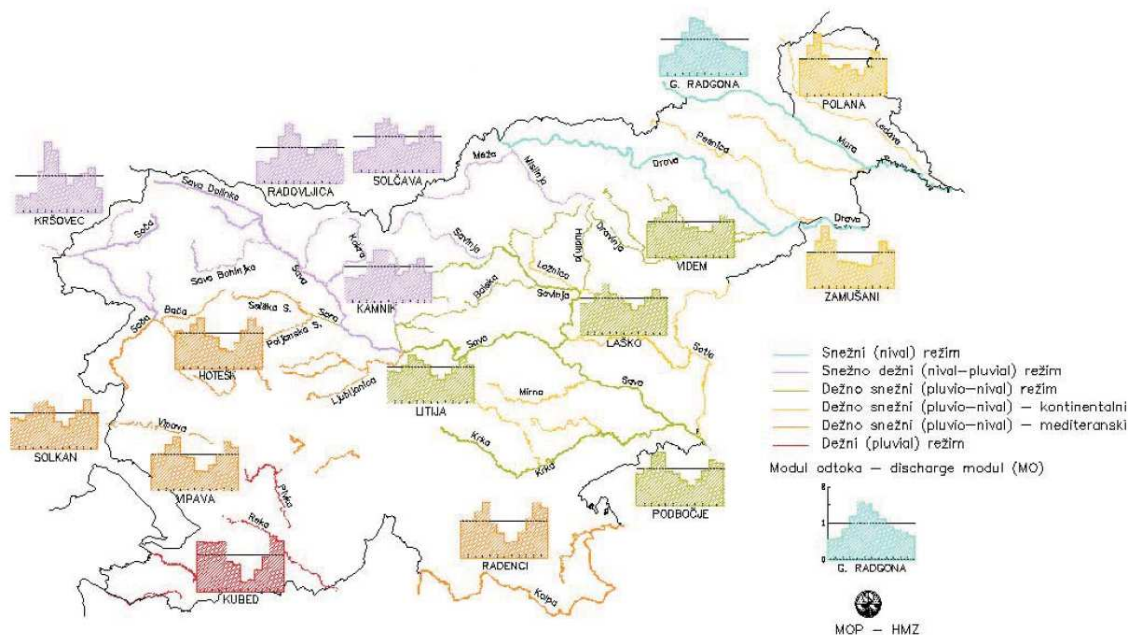
Ljubljanica je tipična kraška reka. Ima dežno snežni rečni režim (Slika 11). Vodo zbira iz dveh krakov: cerkniškega, ki sega do izvira Trbuhovice na Hrvaškem, in iz pivškega, ki sega do Knežaka. Velikost porečja Ljubljanice je po vseh do sedaj opravljenih raziskavah 1889,5 km², kar pomeni slabo desetino površja Slovenije (Pristov et al, 1998). Zaradi močne zakraselosti so določeni odseki nekdanjih površinskih tokov poniknili. Rezultat prestavljanja površinskih tokov v podzemlje je zmanjšanje gostote vodnega omrežja Ljubljanice na 0,98 km/km².

Ljubljanica od izvira na Vrhniki do izliva v Savo prejema padavine neposredno – orografsko s porečja, velikega približno 800 km². To predstavlja nekaj več kot 40 % celotnega porečja, ki

ima sicer tudi nekaj tipično hudourniških pritokov, kot so Iška, Gradaščica, Podlipščica, Borovniščica in površinski barjanski pritoki.

5.1 Karakteristični pretoki

V študiji Ljubljansko barje – hidrologija in analiza poplavnosti (prirejeno po VGI, 1983 povzeto po Jurančič et al, 2000) so bili podrobneje proučeni karakteristični pretoki. Predstavljajo minimalni, srednji in maksimalni pretok v posameznih mesecih oziroma letih. Podatki o teh pretokih so povzeti po omenjeni študiji (Preglednica 1).



Slika 11: Rečni režimi (obdobje 1961-90) (Pristov et al, 1998)

Preglednica 1: Karakteristični pretoki na vodomerni postaji Moste v obdobju 1961 - 1990 (povzeto po Pristov et al, 1998)

		jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	LETO
nQnk	najmanjši pretok (m ³ /s)	4,07	4,76	7,68	9,34	9,14	9,24	5,99	3,8	3,41	3,72	3,76	5,86	3,41
sQs	srednji pretok (m ³ /s)	61,6	60,4	72	80,4	54,3	50,8	35,8	28,9	40,8	56,2	75,2	72,2	57,4
vQvk	največji pretok (m ³ /s)	335	259	405	273	344	296	289	240	352	377	297	320	405

Minimalne pretoke na vodomerni postaji Moste je potrebno upoštevati kot večdnevna povprečja, saj so vrednosti teh pretokov posledica manipulacije zapornic na Mestni

Ljubljanici in na Gruberjevem prekopu. Dejanski minimalni pretoki za ta prerez so tako med $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$ in $4 \text{ m}^3/\text{s}$. Pri nizkih pretokih glavni vodni vir Ljubljanice predstavlja kraški dotok, nekraški dotok pa ima majhen vpliv na majhne pretoke. Če pogledamo mesečne minimalne pretoke, vidimo, da ima kraški dotok na Barje primarni minimum v obdobju med avgustom in novembrom, sekundarnega pa med januarjem in februarjem. Nekraški dotok na Barje pa ima primarni minimum avgusta, sekundarni pa je prav tako med januarjem in februarjem, le nekoliko izdatnejši je (Pristov et al, 1998).

Podatki za srednje mesečne in letne pretoke nam pokažejo, da znaša srednji letni pretok Ljubljanice v profilu VP Moste za prikazano obdobje $57,4 \text{ m}^3/\text{s}$. Omenjena študija kaže, da k srednjemu letnemu pretoku 69 % prispeva zaledni kraški dotok na Barje, nekraški dotok pa 31 %. Zaledni kraški dotok na Barje ima izrazit primarni maksimum pozno jeseni – med novembrom in decembrom, medtem ko sekundarni maksimum srednjih mesečnih pretokov kraškega dotoka nastopi v aprilu. Ob pregledu srednjih mesečnih pretokov kraškega dotoka na Barje je bilo ugotovljeno, da ima le ta izrazit primarni minimum poleti v mesecu avgustu, sekundarni minimum pa je zimski, vendar je zelo neizrazit in je njegov vpliv neznaten. Nekraški dotoki Ljubljanice imajo neizrazit primarni maksimum v pomladnih mesecih, marca in aprila. V teh mesecih se združita pluvialni (dežni) odtok in odtok, ki je posledica taljenja snega v višje ležečih delih porečja. Pozno jeseni, novembra ali decembra, nastopi sekundarni maksimum srednjih pretokov nekraških dotokov Ljubljanice. Vrednosti tega so praktično enake primarnemu maksimumu spomladi. Primarni minimum je za obe vrsti dotokov, kraški in nekraški, izrazit v mesecu avgustu, neizrazit sekundarni minimum pa največkrat nastopi v januarju (Pristov et al, 1998).

Maksimalni mesečni in letni pretoki so za reko Ljubljanico težko določljivi. Zabeleženi podatki o visokih vodah vsebujejo namreč tudi odtočne karakteristike porečja. To je še posebej izrazito pri rekah, ki pogosto poplavljaajo in med katere sodi tudi Ljubljana. Za kraški dotok visokih voda na Barje je karakteristike o primarnih in sekundarnih minimumih oz. maksimumih zelo težko podati. Šele ko proučimo srednje visoke vode, je mogoče definirati primarni maksimum v pozni jeseni, novembra oz. decembra, ter primarni minimum, ki nastopi poleti v mesecu avgustu. Sekundarni maksimum se pojavi med marcem in aprilom in je manj izrazit, o sekundarnem minimumu kraškega dotoka visokih voda pa je zaradi njegove neizrazitosti težko govoriti. Nekraški dotok na Barje pa ima to značilnost, da po njegovem izrazitem primarnem minimumu v avgustu takoj nastopi primarni maksimum v septembru oz. oktobru (Pristov et al, 1998).

5.2 Modelna preiskava

Zelo uporabne podatke o visokih pretokih reke Ljubljanice je podala študija Modelna preiskava Mestne Ljubljane in Gruberjevega kanala (prirejeno po VGI, 1983 povzeto po Jurančič et al, 2000). Po podatkih, povzetih iz te študije, je bila najvišja voda na Ljubljani leta 1933. Dotok na Barje je bil takrat $790 \text{ m}^3/\text{s}$, odtok skozi Ljubljano na vodomerni postaji Moste pa je bil zabeležen pri $372 \text{ m}^3/\text{s}$, preostanek vode pa se je akumuliral na poplavi na Barju. Omenjeni najvišji pretok na vodomerni postaji Moste tudi po izdelavi študije ni bil nikoli presežen. Kar se tiče pretočnosti Mestne Ljubljane in Gruberjevega prekopa je bilo ugotovljeno, da je pretočnost Mestne Ljubljane nekoliko večja, kot je pretočnost Gruberjevega prekopa. Pri manjših pretokih je razmerje 55 % proti 45 %, z večanjem pretoka pa se razlika med pretočnostjo Mestne Ljubljane in Gruberjevega prekopa manjša. Tako je razmerje pri $500 \text{ m}^3/\text{s}$, merjeno na vodomerni postaji Moste, že 52 % proti 48 % (prirejeno po VGI, 1983 citirano po Jurančič et al, 2000).

5.3 Trajanje pretokov

V okviru hidroloških analiz in za njihovo obdelavo je pomembno proučevanje linij trajanja in pogostosti. Podatke o trajanju pretoka oziroma o tem, koliko dni je bil izbrani pretok prekoračen, je moč razbrati iz krivulje trajanja oziroma prekoračenja. Matematično gledano je krivulja trajanja integralna krivulja črte pogostosti. Abscise krivulje nam kažejo, koliko odstotkov dni v letu je bil določen pretok prekoračen ali koliko odstotkov dni traja pretok nad izbranim pretokom (povzeto po Kovačič et al, 2000).

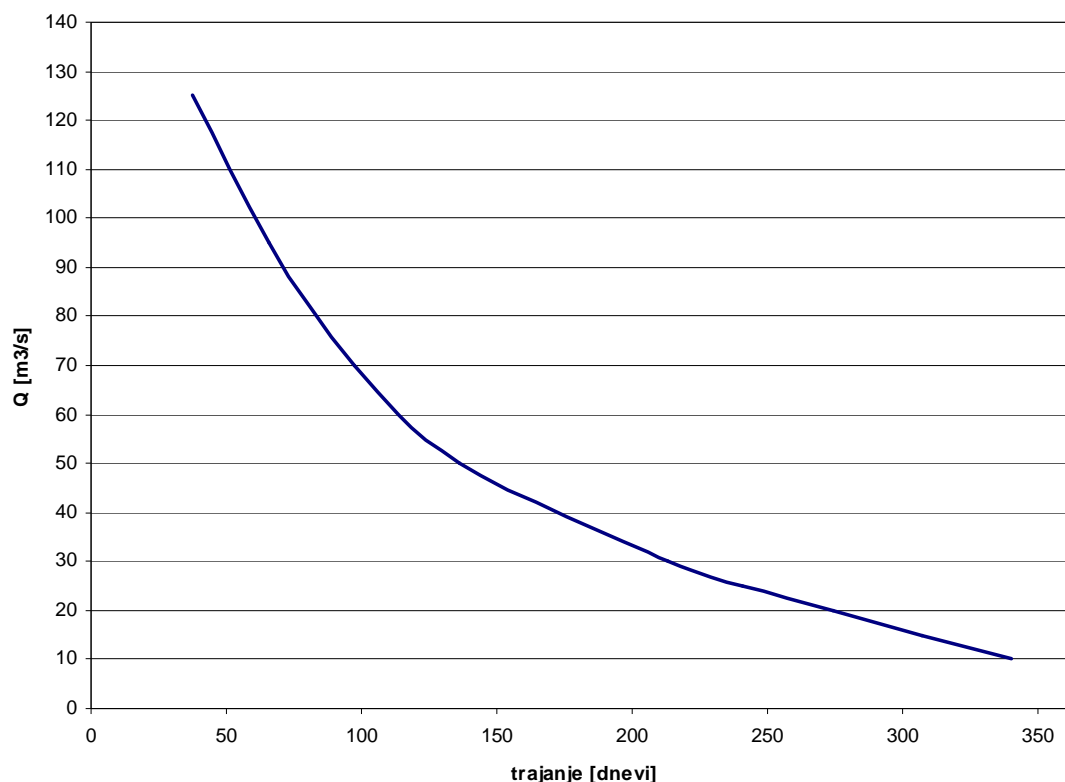
Pri izdelavi krivulj trajanja sem uporabil podatke pretokov vodomerne postaje Moste, ki je dovolj merodajna za oceno pretokov na obravnavanem območju (povzeto po ARSO, 2013). V študiji (Kovačič et al, 2000) je narejena tudi primerjava pretokov med suhim letom 1983 ter mokrim letom 1965 v obravnavanem obdobju 1961-1990. Primerjava pokaže, da je bil srednji pretok v mokrem letu $87,13 \text{ m}^3/\text{s}$, kar je 2,5 krat več kot v suhem letu 1983, ko je bil srednji pretok le $35,67 \text{ m}^3/\text{s}$. Ti dve vrednosti predstavljata ekstrema v tem obdobju. Razmerje med povprečnim srednjim pretokom v tem obdobju, ki je znašal $57,36 \text{ m}^3/\text{s}$, in pretokom v suhem ter mokrem letu je $0,62 : 1 : 1,52$. To razmerje nam pove, da v suhem letu odteče 40 % vode manj kot v povprečnem letu, v mokrem letu pa približno 50% več kot v povprečnem letu. V suhem letu trajajo tako visoki pretoki nad $125 \text{ m}^3/\text{s}$ le 16 dni, medtem ko v mokrem letu trajajo kar 88 dni v letu. Nizki pretoki pod $15 \text{ m}^3/\text{s}$ trajajo v suhem letu kar 121 dni, v mokrem letu pa so našli samo 4 takšne dneve.

Krivulja trajanja je izdelana na podlagi podatkov ARSO za vodomerno postajo Moste v obdobju 1961 – 2011. Linije trajanja ponazarja, koliko dni je bil določen pretok v povprečnem letu prekoračen. Dobljena krivulja nam pokaže glavne značilnosti vodnega režima Ljubljane (Slika 13). Najbolj pogost pretok Ljubljane je med 20 in 30 m³/s (Preglednica 2).

Preglednica 2: Trajanje pretokov

Pretok	m ³ /s	10	15	20	25	30	50	70	95	125
Trajanje	dnevi	25	33	33	33	28	77	39	32	28

Krivulja trajanja v dnevih



Slika 12: Krivulja trajanja pretokov prikazuje povprečno število dni, ko je trajal posamezen pretok

Za načrtovanje hidroenergetskih objektov in zgradb za urejanje vodnega režima je potrebno upoštevati podatke o povratnih dobah. Povratna doba je ocena časovnega intervala med dogodki. Povratne dobe so izračunane za največje letne pretoke (letne visokovodne konice – Q_{vk}) in najmanjše letne srednje dnevne pretoke (Q_{np}). Izračun je narejen za lokaciji vodomerna postaja Moste in vodomerna postaja Vrhnika. V izračunih so upoštevana razpoložljivi podatki za obdobje do vključno leta 2010. Za računanje povratnih dob sta bili

uporabljeni Pearson 3 in Log Pearson 3 porazdelitveni funkciji, ki sta v hidrološki praksi najpogosteje uporabljeni porazdelitveni funkciji (ARSO, 2013).

Preglednica 3: Povratne dobe za vodomerni postaji Vrhnika in Moste (ARSO, 2013)

Vodomerna postaja Vrhnika				
	1961 - 2010 nizki pretoki (m^3/s)		1926-2010 visoki pretoki (m^3/s)	
Povratna doba Qx	Pearson 3	log Pearson 3	Pearson 3	log Pearson 3
2	2,22	2,16	96.9	97
5	1,63	1,61	106	106
10	1,34	1,37	110	110
20	1,1	1,19	114	114
50	0,0851	1,01	119	119
100	0,688	0,909	122	122
1000	0,225	0,661	131	130

Vodomerna postaja Moste				
	1924 - 2010 nizki pretoki (m^3/s)		1946-2010 visoki pretoki (m^3/s)	
Povratna doba Qx	Pearson 3	Log Pearson 3	Pearson 3	Log Pearson 3
2	7,27	7,06	266	265
5	5,09	5,19	309	308
10	4,19	4,45	334	334
20	3,56	3,95	356	356
50	2,97	3,46	382	384
100	2,63	3,19	401	403
1000	1,92	2,55	456	464

6 OBRATOVALNI REŽIM OBSTOJEČIH ZAPORNIC

Režim obratovanja zapornic je opredeljen v Pravilniku za obratovanje in vzdrževanje zapornic na Mestni Ljubljani (Ambrožev trg) in Gruberjevem prekopu (Roška cesta), ki ga je pripravilo podjetje Hidrotehnik, vzdrževalec vodotoka (Humar, 2011).

6.1 Cilji obratovanja

Obratovanje zapornice je pomembno za izpolnjevanje namena in ciljev obratovanja zapornice. Cilji delovanja zapornice glede na prioritetni nivo:

- vzdrževanje stalne gladine nad zapornicami v času, ko to dovoljujejo hidrološki pogoji,
- zagotavljanje poplavne varnosti, razen v primeru izredno neugodnih hidravličnih razmer (vzdrževanje stalne gladine Ljubljane s pomočjo zapornic je omejeno na pretoke Ljubljane, ki skupno ne presegajo 125 m³/s),
- zagotavljanje ekološko sprejemljivega pretoka 8 m³/s, merjeno na vodomerni postaji Moste (60 % pretoka se odvede po Mestni Ljubljani, 40 % po Gruberjevem prekopu), razen v primeru, ko hidrološki pogoji tega ne dovoljujejo,
- vzdrževanje pogojev za obratovanje naprav za koriščenje vode imetnikov vodnih pravic v času, ko to dopuščajo hidrološko-hidravlični pogoji,
- vzdrževanje pogojev za plovbo nad zapornicami v času, ko to dopuščajo hidrološko-hidravlični pogoji.

Absolutna kota stalne gladine nad zapornicami je 285,6 m n.m. (Globokar et al 1995, povzeto po Humar 2011).

6.2 Obratovalni pogoji

Obratovanje z zapornicami obsega naslednje pogoje, glede na stanje Mestne Ljubljane in Gruberjevega prekopa:

- normalna stanja – vzdrževanje stalne gladine vodotoka nad zapornicami, pogojev za obratovanje vodosilnih naprav in vzdrževanje pogojev za plovbo nad zapornicami,
- visoke vode – zagotavljanje poplavne varnosti pri pretokih od 57 m³/s do 125 m³/s,
- ukrepanje v izrednih razmerah pri pretokih, ki presežejo 125 m³/s,
- delovanje zapornic po daljših sušnih obdobjih in pri pretokih nižjih od 13,7 m³/s – zagotavljanje pogojev za obratovanje vodosilnih naprav imetnikom vodnih pravic,
- zagotavljanje ekološko sprejemljivega pretoka (skupno 8 m³/s).

Pred vsako manipulacijo z zapornico je potrebno pridobiti podatke o pretoku na vodomerni postaji Moste.

6.3 Normalna stanja

Normalno stanje in izpolnjevanje ciljev obratovanja je omejeno na pretoke večje od $8 \text{ m}^3/\text{s}$ in manjše od $57 \text{ m}^3/\text{s}$. Dopustni so kratkotrajni odkloni v vrednosti $\pm 20 \text{ cm}$ od predpisane kote $285,6 \text{ m n.m.}$

6.4 Visoke vode in izjemne razmere

Visoke vode so določene za pretoke med $57 \text{ m}^3/\text{s}$ in $125 \text{ m}^3/\text{s}$, merjeno na vodomerni postaji Moste. V primeru visokih voda je potrebno stanje na zapornicah kontrolirati najmanj 3 krat dnevno. Postopoma se odpira zapornice (leva celotno, desna do polovice), ko pretok preseže $80 \text{ m}^3/\text{s}$, se postopoma odpre tudi desna zapornica. Obvestiti je potrebno koncedenta.

V izjemnih razmerah, to je pri pretokih, ki so na vodomerni postaji Moste večji kot $125 \text{ m}^3/\text{s}$, sta obe zapornici odprti, na koto gladine in pretok dolvodno pa z manipulacijo zapornic ni več mogoče vplivati.

6.5 Minimalni in izjemno nizki pretoki

Minimalni pretoki so, ko je pretok na vodomerni postaji Moste enak ali manjši od $13,7 \text{ m}^3/\text{s}$. Pri tem je potrebno zagotavljati minimalni ekološko sprejemljiv pretok, to je $8 \text{ m}^3/\text{s}$. V primerih, ko pretok pade pod $13,7 \text{ m}^3/\text{s}$, je potrebno zapornico in stanje na zapornici kontrolirati 3 krat dnevno.

Pri pretokih manjših, od $8 \text{ m}^3/\text{s}$ na vodomerni postaji Moste, je edini cilj zapornice vzdrževanje gladine vode nad zapornico. V takih primerih je potrebno o zapori zapornice obvestiti ribiško družino Vevče, da poskrbi za vodni živelj, in Termoelektrarno – Toplarno Ljubljana, da preide na interni način oskrbe s hladilno vodo.

7 UREDITEV ZAPORNIČNEGA OBJEKTA

Jez na Gruberjevem prekopu je bila zgrajen pred več kot 100 leti. V času njegovega obstoja in obratovanja so bila na gradbenem delu zapornice izvajana le minimalna popravila. Nekoliko več vzdrževalnih del je bil deležen hidromehanski del zapornice, vendar je tudi ta že v precej slabem stanju in zastarel. Sanacija zaporničnega objekta je nujna, zaradi primerljivo visokih stroškov pa pride v poštev tudi izgradnja novega jezu na Gruberjevem prekopu.

V sklopu ureditve zapornice je potrebno urediti zapornični objekt, ki ga v grobem sestavljajo: prag, steber oziroma stebri, stranska opornika ter po navadi tudi ploščad, ki se uporablja za upravljanja z hidromehansko opremo, mogoča pa je tudi njegova uporaba kot premostitvenega objekta. Poleg gradnje zaporničnega objekta je potrebna tudi nova hidromehanska oprema, katere obseg se razlikuje glede na izbran tip zapornice. Velik pomen pri urejanju zapornice ima tudi varstvo pred vodno erozijo. Za varovanje omočenega oboda struge je potrebna vrsta ukrepov, ki zagotavljajo stabilnost in odpornost delov struge, izpostavljenih vodni eroziji. Pred vodno erozijo je tako potrebno zaščititi območje dna struge dolvodno od zaporničnega objekta, zagotoviti je potrebno stabilnost brežin, ki bodo izpostavljene vodni eroziji. Neomočene dele struge pa je potrebno zaščititi pred polzenjem zemljine, da ne bi zasovala prekopa.

V našem primeru, ko gre za preučevanje možnosti izkoriščanja vodnega potenciala na zaporničnem objektu, pa je potrebna tudi dobava in montaža strojne in elektro opreme za pridobivanje električne energije

7.1 Predstavitev Matrix turbin

Na izbor elektro-strojne opreme energetskega objekta je vplivalo več različnih dejavnikov. Ker je objekt v središču bivalnega okolja, je pomembno predvsem to, da energetski del objekta bistveno ne poslabšuje bivanjskih razmer okoliških prebivalcev. Tako je pomembno, da objekt ne predstavlja negativne prostorske dominante in da njegovo obratovanje ni preglasno. Poleg okoljskih parametrov je seveda pomembno, kakšni so predvideni investicijski stroški postavitve energetskega objekta in stroški njegovega vzdrževanja. Ker gre v tem primeru za strogo funkcionalni objekt in je nujno, da se njegova prvotna vloga ohrani, ni mogoče postaviti zahtevnejšega objekta za pridobivanje energije, saj bi preveč vplival na pretočne sposobnosti Gruberjevga prekopa pri visokih pretokih (Andritz, 2013).

Glede na vse zahteve se nam je zdela najboljša rešitev namestitve modulov matričnih turbin, ki so nezahtevni za vzdrževanje in predstavljajo poceni rešitev za pridobivanje električne energije. Različne možnosti takšnih rešitev ponujajo v avstrijskem podjetju Andritz, kjer sem pridobil tudi vse potrebne informacije o opreми. V omenjenem podjetju so razvili nov koncept pridobivanja hidroenergije s pomočjo Hydromatrix opreme (Slika 13).

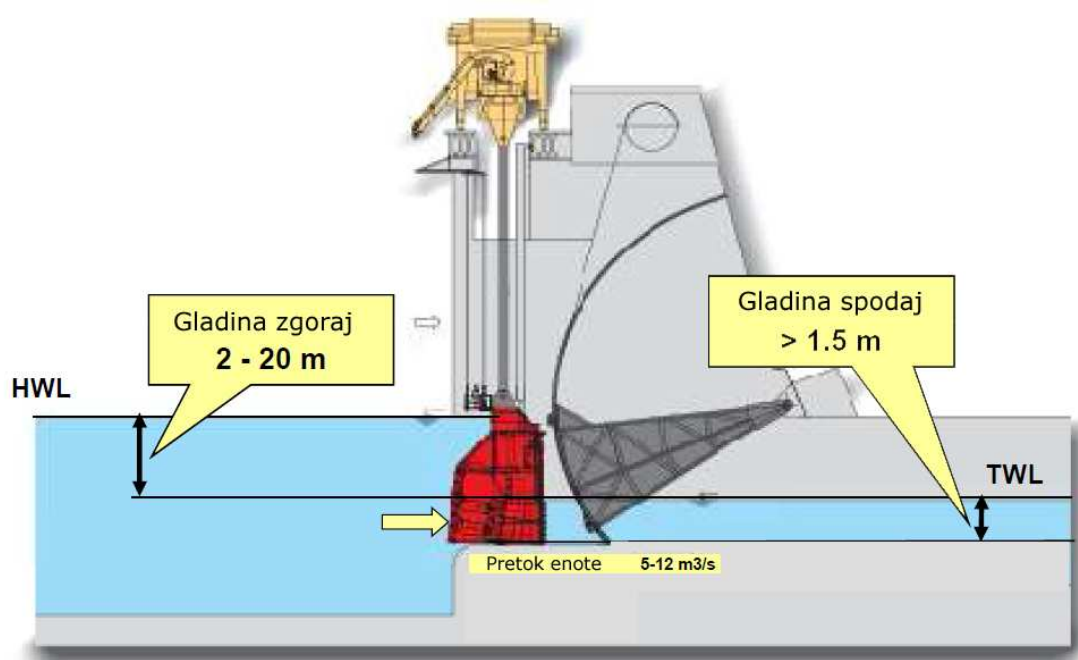


Slika 13: Primer uporabe Hydromatrix tehnologije, Agonitz, Avstrija (Andritz, 2013)

7.1.1 Značilnosti sistema Hydromatrix

Sistem Hydromatrix je iz majhnih integriranih enot turbinskih generatorjev povezan v modul, ki je v primeru manjših dimenzij sestavljen v tovarni. Modularnost sistema omogoča izdelavo modula iz točno toliko turbinskih generatorjev, kolikor jih predvidevajo značilnosti vodotoka. Omenjena tehnologija ima poglavitno prednost pred uveljavljenimi izvedbami turbinskih generatorjev v svoji prilagodljivosti. Tako jo je mogoče namestiti na že obstoječe objekte kot so zapornice, jezovi, namakalni kanali in podobni objekti. Tako ima postavitev energetskega objekta minimalen vpliv na okolje, saj zahteva le minimalna prilagajanja obstoječega objekta in je zato primerna tako za urbano kot kmetijsko okolje. Sestavljeni moduli prispejo na gradbišče, kjer se jih samo še vgradi, kar bistveno zniža čas in stroške gradnje objekta. Zasnova Hydromatrix sistema omogoča preprosto vzdrževanje opreme, saj je modul mogoče

dvigniti ali celo odstraniti in tako enostavno opraviti vse potrebno za nadaljnje obratovanje. Opis vzdrževanja predvideva sicer le menjavo olja in filtra. Modul je mogoče dvigniti tudi pri izjemno visokih pretokih, ki bi sicer poplavalili višje ležeča območja. S sistemom Hydromatrix so tudi projekti za izrabo hidroenergije, ki sicer niso rentabilni z uveljavljenimi izvedbami turbinskih generatorjev, lahko ekonomsko upravičeni. Čeprav imajo moduli Hydromatrix nekoliko več izgub kot druge izvedbe cevnih turbin, je izvedba s Hydromatrix moduli smiselna, saj zagotavljajo visoke prihranke pri investiciji in vzdrževanju. Sistem Hydromatrix je mogoče namestiti pri gorvodni gladini vode med 2 in 20 m ter pri pretokih med 5 in 13 m³/s (Slika 14).



Slika 14: Kriteriji namestitve (prirejeno po Andritz, 2013)

Sistem Hydromatrix se v Sloveniji še ne uporablja na nobenem objektu, je pa uporabljen v tujini na različnih objektih že več kot 10 let in uspešno deluje (prirejeno po Andritz, 2013).

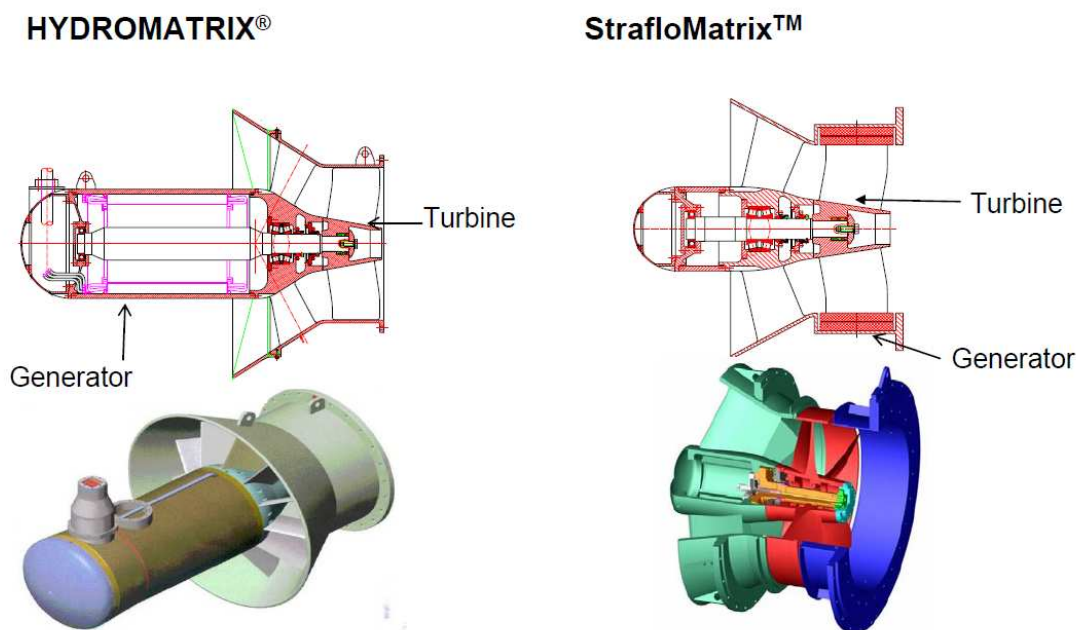
7.1.2 Primerjava Hydromatrix in StrafloMatrix turbine

7.1.2.1 Hydromatrix

Hydromatrix enote so razviti na podlagi uveljavljenih primerov aksialnih propelerskih turbin s cevniimi generatorji. Izpopolnili so jih z uporabo stalnih magnetov za rotor (slika 15). Zaradi opremljenosti s sistemom za mazanje so moduli zelo nezahtevni za vzdrževanje in imajo dolgo življenjsko dobo (prirejeno po Andritz, 2013).

7.1.2.2 StrafloMatrix

StrafloMatrix je posebna izvedba turbine, posebej prilagojene za primere, kjer nastopajo omejitve glede prostora in skupne teže modula. V tem primeru je rotor generatorja nameščen na obodu lopatic turbine (Slika 15). Rezultat takšne namestitve so zelo majhne mere in majhna masa. Agregat tipa StrafloMatrix je 50 odstotkov krajši in tehta 35 odstotkov manj kot agregat tipa Hydromatrix. Za doseganje vodotesnosti sta rotor in stator zapolnjena s hidroizolacijskim materialom. StrafloMatrix enote imajo v primerjavi s Hydromatrix enotami nekoliko nižji izkoristek, ki je posledica izgub zaradi večjega trenja drugače postavljenega generatorja (prirejeno po Andritz, 2013).



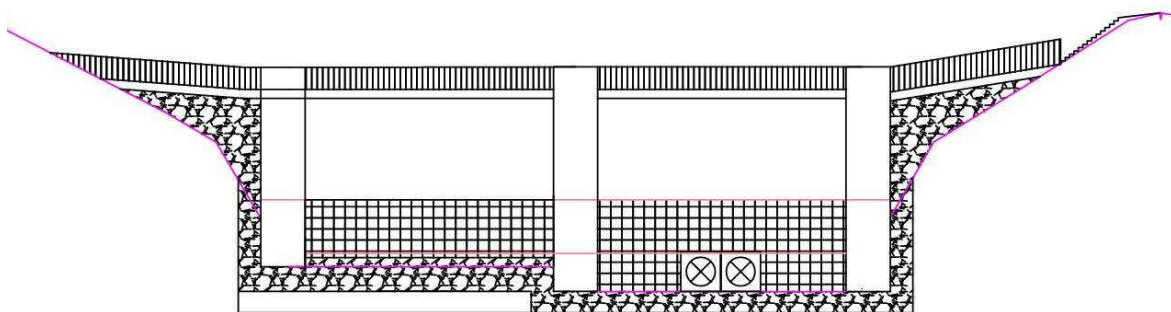
Slika 15: Primerjava Hydromatrix in StrafloMatrix turbine (Andritz, 2013)

7.2 Idejna zasnova variante z obnovo sedanjega jezu in namestitvijo matrix turbine

7.2.1 Tehnični opis rešitve in načrti

Pri tej varianti gre za obnovo sedanjega objekta. Predvidena je obnova in dodelava praga v višini 0,5 m. Prag je zaobljen in oblikovan, kot je prikazano v izračunih v nadaljevanju in načrtih (PRILOGI B in C). Pod pragom je predvidena tesnilna membrana, ki preprečuje odtekanje vode pod pragom in onemogoča njegovo spodjedanje. Izračun je pokazal, da je potrebno na dolžini 8,8 m urediti podslapje in pripadajočo zaščito podslapja v dolžini približno 10 m. Zaščita podslapja se zaključi z izvedbo pilotiranja, da se prepreči delovanje erozije in

morebitno spiranje zaščite. V dolžini podslapja in zaščite dna struge je predvidena ojačitev omočenega oboda struge s skalometom. Ostali del oboda bo ojačan z armirano zemljino in zatravljen. Tudi ostali deli struge, kjer se bodo izvajala dela in bo zaradi tega povečana nevarnost plazenja zemljin z brežin v strugo prekopa, bodo primerno ojačani in urejeni, da se prepreči zasipanje struge prekopa. Obnovljeni bodo vsi gradbeni deli zaporničnega objekta, in sicer vsi trije stebri zapornice, zgornja plošča in prag zapornice. Dimenzije zapornice ostajajo nespremenjene. Širina stebra ostaja 2 m, skupna širina prelivnih polj pa 22,2 m. Nameščena bo nova hidromehanska oprema z zapornico, njenimi vodili, hidravlični pogoni in ostala pripadajoča oprema. Upravljanje z zapornico bo avtomatizirano z možnostjo daljinskega in ročnega upravljanja. Za dvig zapornice je predviden električni pogon, ki se v primeru izpada električne energije priklopi na predvideni električni generator. Za potrebe namestitve elektrarne je potrebno predvideti poglabitev na prelivnem polju, kjer bo nameščena elektrarna, kar je kaže vzdolžni prerez objekta (Slika 16). Ostale pomembne lastnosti objekta so prikazane v načrtu situacije in prečnih prerezih (PRILOGI B in C).



Slika 16: Vzdolžni prerez objekta

7.2.2 Izračun višine gladine dolvodno od zapornice

Izračun višine gladine dolvodno od zapornice pri minimalnem obravnavanem pretoku je potreben za določitev poglobitve dela struge Gruberjevega prekopa, na katerem bodo nameščene turbine.

Za izračun gladine uporabimo Manningovo enačbo:

$$\bar{u} = 1 \cdot \frac{1}{n_g} \cdot R^{2/3} \cdot \sqrt{I_0} \quad (1)$$

$$\text{pri čemer je: } \varepsilon = 1 - \frac{\alpha \cdot H_0}{B + H_0} \quad (2)$$

\bar{u} povprečna hitrost

n_g Manningov koeficient (hrapavost)

I_0 naklon struge $I_0 = 0,103 \%$ (projektirana niveleta, izvedena 1911/1912, ponovno izvedena 1931, vir: Vzдолžni profil Grubarjevega prekopa M 1:5000/50, PRILOGA A)

R hidravlični radij

$$R = \frac{S}{O} \quad (3)$$

pri čemer je:

S prerez omočenega dela struge

O obod omočenega dela struge.

Povprečno hitrost izpostavimo iz 1-D enačbe za izračun pretoka pri stalnem enakomernem toku:

$$Q = \frac{\bar{u}}{S} \quad (4)$$

pri čemer je:

Q pretok za stalni enakomerni tok (upoštevana vrednost 5 m³/s, saj je to najmanjša vrednost, pri kateri bodo turbine obratovale).

Manningov koeficient ocenimo s pomočjo preglednice (Preglednica 4), ki upošteva celo vrsto vplivov (Enačba 5) (Steinman, 1999):

Preglednica 4: W. H. Shen za določanje Manningovega koeficienta (Steinman, 1999):

vpliv	stanje korita	vrednosti parametrov	
Material ki sestavlja korito	zemlja	n₀	0.020
	izkop v skali		0.025
	fini gramoz		0.024
	grobi gramoz		0.028
Stopnja hrapavosti območnega oboda	zablateno korito	n₁	0.000
	majhna		0.005
	srednja		0.010
	velika		0.020
Neprizmatičnost	postopna	n₂	0.000
	občasna		0.005
	pogosta		0.010 - 0.015
Relativni vpliv ovir v koritu	zanemarljiv	n₃	0.000
	majhen		0.010 - 0.015
	znaten		0.020 - 0.030
	velik		0.040 - 0.060
Zaraslost z vegetacijo	nizka	n₄	0.005 - 0.010
	srednja		0.010 - 0.025
	visoka		0.025 - 0.050
	ekstremna		0.050 - 0.100
Stopnja meandriranja	majhna	m	1.00
	srednja		1.15
	velika		1.30

$$n_g = (n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \cdot m \quad (5)$$

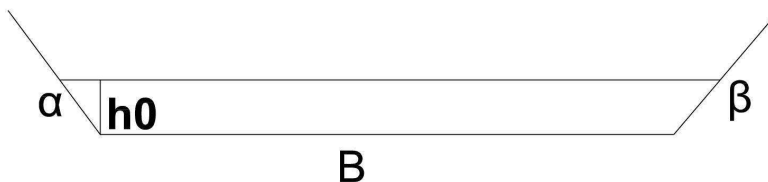
pri čemer je:

n_1, n_2, n_3, n_4 vpliv materiala, ki sestavlja korito, stopnja hrapavosti oboda, relativni vpliv ovir v koritu oz. vpliv zaraslosti z vegetacijo,

m vpliv stopnje meandriranja vodotoka.

Tako ocenjena vrednost Manningovega koeficienta je 0,08.

Na podlagi znanih podatkov o pretoku, Manningovem koeficientu in podatkov o geometriji struge (Slika 17), lahko tabelarično določimo višino gladine h_0 .



Slika 17: Geometrija struge

$$B = 18\text{m}$$

$$\alpha = 54^\circ$$

$$\beta = 50^\circ$$

Za potrebe tabelarnega določanja višine je potrebno iz danih podatkov izpostaviti še značilnosti geometrije struge $SR^{2/3}$:

$$S \cdot R^{2/3} = \frac{n_s \cdot Q}{I_0} \quad (6)$$

$$S \cdot R^{2/3} = 3,88.$$

Kot kaže preglednica (Preglednica 4) za tabelarno določitev višine gladine je vrednost višine h_0 nekoliko manjša kot 0,4 m.

Preglednica 5: Tabelarno določanje višine gladine

h_0	O	S	$SR^{2/3}$
0,1	18,16	1,81	0,39
0,2	18,32	3,62	1,23
0,3	18,47	5,46	2,42
0,35	18,55	6,38	3,13
0,39	18,61	7,11	3,75
0,4	18,63	7,30	3,91
0,5	18,79	9,15	5,67
0,6	18,95	11,02	7,68

Vrednost koeficienta α za polkrožni zaključek stebra je 0,11. Z znanim koeficientom α sem izračunal koeficient zoženja ε

$$\varepsilon = 1 - \alpha \cdot \frac{H_0}{(B + H_0)} \quad (7)$$

$$B_c = \varepsilon \cdot B. \quad (8)$$

Tako je

$$B_c = 21,9 \text{ m.}$$





Z upoštevanjem koeficienta zoženja dobimo enotski pretok

$$q_{\max} = \frac{Q_{\max}}{B_c} \quad (9)$$

$$q_{\max} = 9,13 \text{ m}^3/\text{s m.}$$

Izberemo prag preлива, ki je dobro zaobljen in tako iz Preglednice 6 izberemo koeficient preлива:

Preglednica 6: Zaobljenost pragov (Agroskin et al, 1973)

N	Prag preлива	m	$\frac{M}{m\sqrt{2g}}$	k_1	k_2	φ	φ_p	$\frac{\varphi p_1}{m}$	Shema
1	Ni izgube	0,385	1,70	2/3	2/3	1	1	2,60	Teoretični primer
2	Dobro zaobljen	0,36	1,60	0,50	0,81	0,983	0,96	2,67	
3	Zaobljen	0,35	1,55	0,47	0,83	0,976	0,93	2,66	
4	Posnet	0,34	1,51	0,45	0,84	0,970	0,90	2,65	
5	Normalen	0,32	1,42	0,395	0,88	0,956	0,84	2,62	

$$m = 0,36.$$

Z znanim koeficientom preлива lahko izračunamo vrednost H_0 :

$$H_0 = \left(\frac{Q}{m \cdot B \cdot (\sqrt{2 \cdot g})} \right)^{2/3} \quad (10)$$

Izračunani H_0 uporabimo za izračun koeficienta zoženja. S korigirano širino izračunamo korigirano H_0 . Ob predpostavki, da je $H_0 = H$, iteracijsko izračunamo vrednost H po enačbi:

$$H = H_0 - \frac{Q^2}{H_0^2} \cdot B_c^2 \cdot 2 \cdot g. \quad (11)$$

Tako dobimo obe vrednosti:

$$H_0 = 3,17 \text{ m}$$

$$H = 2,48 \text{ m.}$$

Določiti je potrebno še dimenzije podslapja ter prvo in drugo konjugirano gladino. Gre za preliv s širokim pragom, saj je razmerje med širino praga in gladino H med vrednostima 2 in 10.

Višino praga sem določil pri vrednosti $p = 0,5 \text{ m}$.

Preveriti je potrebno, če prag ni previsok:

$$p_{\max} = H_0 - h_{kr} \quad (12)$$

$$h_{kr} = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \quad (13)$$

$$h_{kr} = 2,04 \text{ m}$$

$$p_{\max} = 1,16 \text{ m} > p.$$

V postopku izračuna konjugiranih gladin izračunamo najprej prvo konjugirano gladino. Za izračun uporabimo naslednjo formulo:

$$h' = \frac{q_{\max}}{\varphi \cdot \sqrt{(H_0 - h') \cdot 2 \cdot g}} \quad (14)$$

pri čemer φ v enačbi za izračun prve konjugirane gladine predstavlja koeficient praga preliwa. Njegova vrednost je v našem primeru 0,983 kot kaže preglednica zaobljenosti pragov (Agroskin et al, 1973). Rešitev zgornje enačbe je prva konjugirana gladina. Njena vrednost je:

$$h' = 1,8 \text{ m.}$$

S pomočjo prve konjugirane gladine izračunamo vrednost π_{k1} .

$$\pi_{k1} = \frac{\alpha \cdot q^2}{g \cdot h'^3} \quad (15)$$

$$\pi_{k1} = 1,46$$

Vrednost π_{k1} ustreza kriterijem za valoviti skok. Drugo konjugirano gladino izračunamo s pomočjo formule za drugo konjugirano gladino valovitega skoka:

$$h'' = h' \cdot \pi_{k1} \quad (16)$$

Vrednost druge konjugirane gladine je tako:

$$h'' = 2,63 \text{ m.}$$

Z izračunanimi konjugiranimi gladinama je lahko izračunamo dolžino skoka:

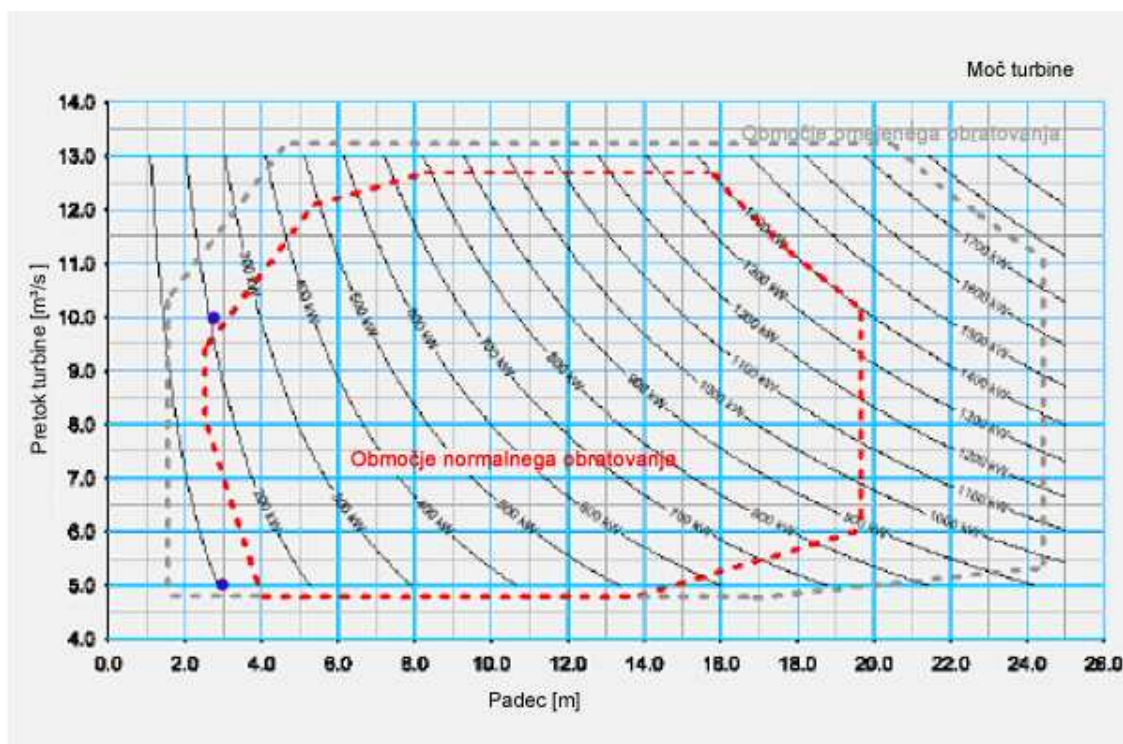
$$L = 10,5 \cdot h' \cdot (\pi_{k1} - 1). \quad (17)$$

Vrednost L je tako 8,8 m.

7.2.4 Izbor turbine

Za obnovljeno zapornico je predviden sistem Straflomatrix, saj je 35 % lažji kot primerljiv sistem Hydromatrix. Zaradi svoje manjše teže je bolj primeren, saj bo potrebno skupaj s sistemom za proizvodnjo energije dvigati tudi zapornico. Izvedba s težjim sistemom bi pomenila dodatno povišanje cene investicije zaradi povišanja cene hidromehanske opreme. Na vzdolžnem (Slika 16) in prečnem prerezu (PRILOGA B) je videti poglobitev, ki je potrebna

zaradi vgradnje hidroelektrarne. Proizvajalec namreč predpisuje najmanjšo potopljenost enot. Na omenjeni objekt je predvidena namestitev dveh enot Straflomatrix, vsaka dimenzionirana za pretok 5 m³/s in inštalirano močjo približno 115 kW (skupni pretok elektrarne 10 m³/s in skupna inštalirana moč približno 230 kW) oziroma v primeru močnejših turbin dimenzionirana na pretok 10 m³/s in inštalirano močjo 215 kW (skupni pretok elektrarne 20 m³/s in skupna inštalirana moč približno 430 kW) (Slika 20). Izbor temelji na podatkih, pridobljenih s strani podjetja Andritz, in na izračunu razpoložljivih pretokov in s tem povezanega dobitka energije (Slika 20).



Slika 20: Obratovalni diagram – z modrima pikama sta označeni predlagani moči posamezne turbine StrafloMatrix (prirejeno po Andritz, 2013)

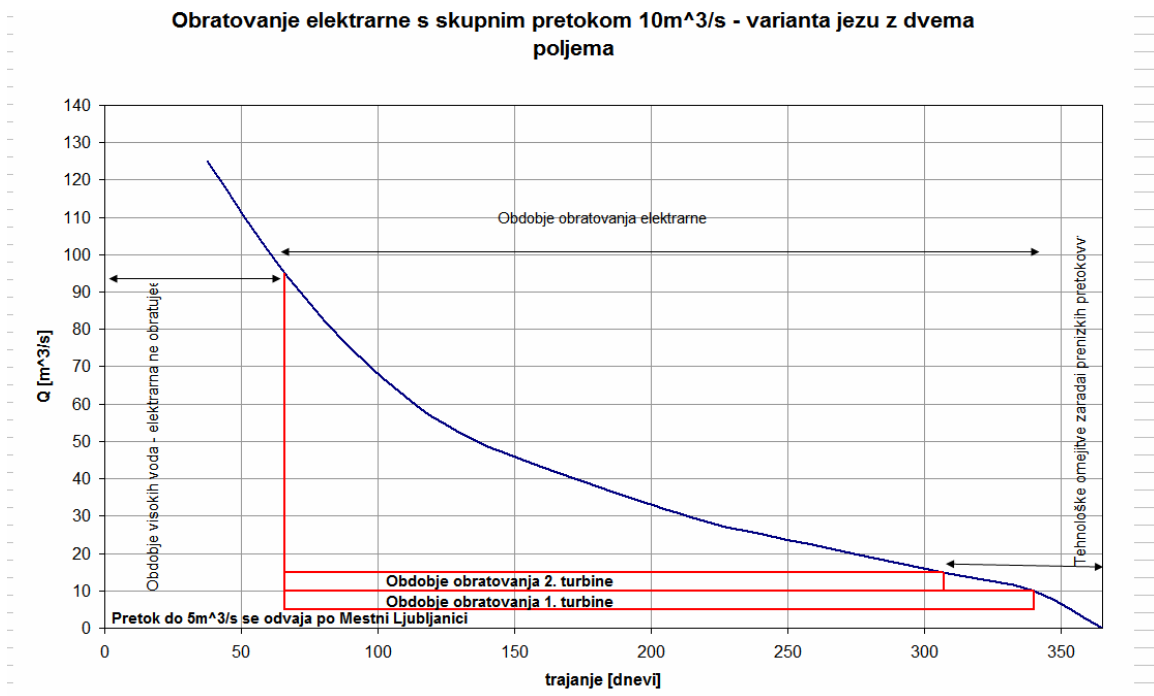
7.2.5 Energetska izraba obravnavane rešitve

Energetski preračun smo naredili na osnovi razpoložljive krivulje trajanja. Za potrebe določitve instaliranega pretoka vgrajene turbine je namreč potrebno preveriti, koliko dni v letu traja posamezni pretok, in glede na te podatke ustrezno predvideti moč nameščenih agregatov. Za izračun pridobljene energije sem predpostavil, da se v strugo Mestne Ljubljance v vsakem primeru odvaja vsaj minimalni ekološko sprejemljivi pretok, kar pomeni okoli 5 m³/s. Izjema so situacije, ko na vodomerni postaji Moste izmerjeni pretoki ne dosežajo predvidenega minimalnega ekološko sprejemljivega pretoka. V teh primerih se deli količina pretoka med Gruberjev prekop in Mestno Ljubljano v razmerju, določenem v

pravilniku o obratovanju zapornic (Humar, 2011). Za določanje najbolj primerne nameščene moči predvidene hidroelektrarne sem v postopku odločanja primerjal varianti z dvema turbinama, vsaka s pretočnostjo 5 m³/s oziroma pretočnostjo 10 m³/s.

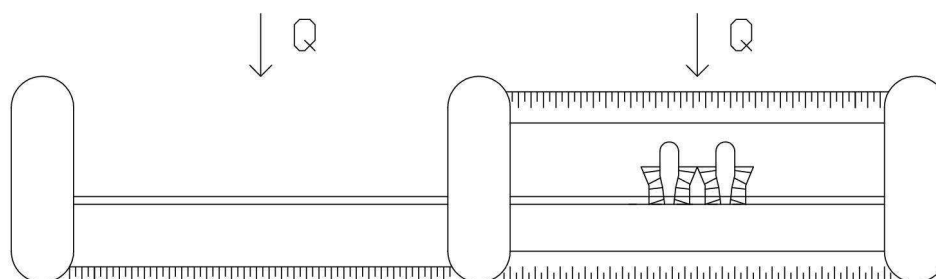
7.2.5.1 Primer manjših turbin

V primeru vgradnje turbine s pretokom 2 x 5 m³/s elektrarna obratuje od skupnega izmerjenega pretoka 10 m³/s na vodomerni postaji Moste naprej (Slika 21), saj je potrebno do tega pretoka zagotavljati minimalne biološko sprejemljive pretoke, pri tako nizkih pretokih pa obratovanje elektrarne zaradi tehnoloških omejitev ni mogoče. Pri nizkih pretokih so izgube prevelike, da bi se obratovanje splačalo, pa tudi zahteve proizvajalca po minimalnih pretokih skozi turbino niso izpolnjene. Minimalni pretok skozi turbino je določen pri 5 m³/s (Andritz, 2013 – Slika 20). Ob minimalnih pogojih se 5 m³/s prevaja po Mestni Ljubljani, 5 m³/s pa preko ene turbine na Gruberjevem prekopu, druga turbina pa v teh pogojih ne obratuje. Druga turbina začne z obratovanjem šele, ko pretok na Mostah doseže vrednost 15 m³/s (Slika 21). Tudi za obratovanje druge turbine je zaradi tehnoloških zahtev potreben pretok 5 m³/s skozi turbino. Zato v primerih, ko ta pogoj ni izpolnjen (to je pri pretoku, izmerjenem na vodomerni postaji Moste, med 10 m³/s in 15 m³/s), druga turbina ne obratuje, saj je njeno obratovanje ekonomsko neupravičeno.



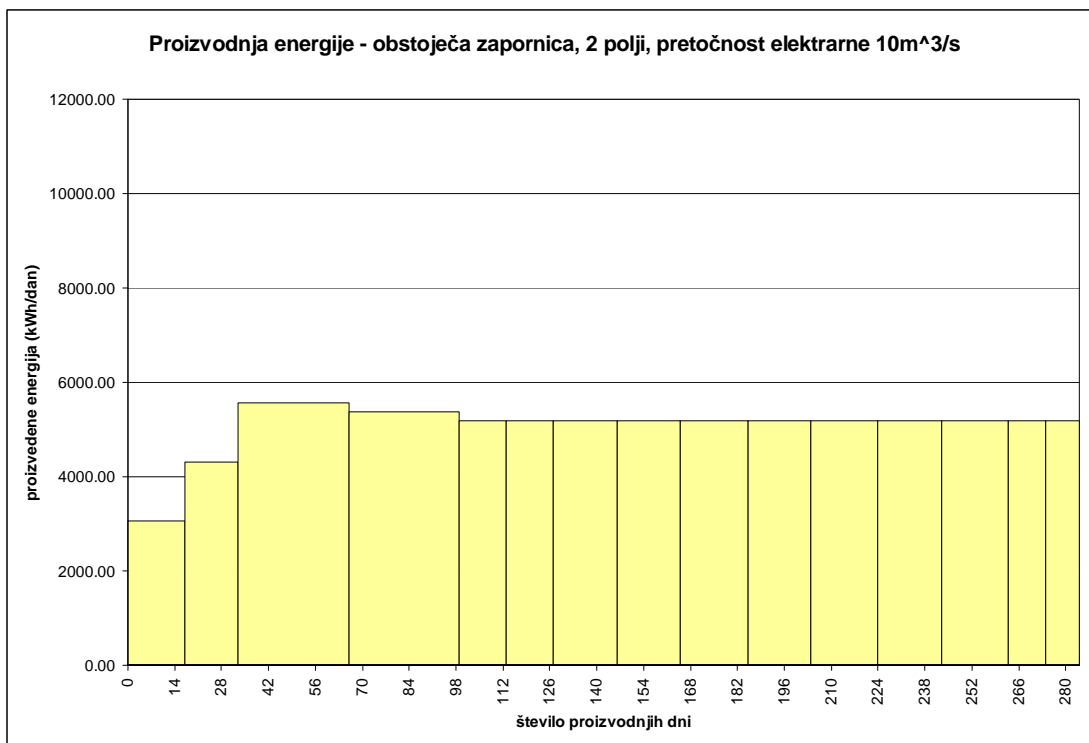
Slika 21: Časovna razporeditev obratovanja turbine – varianta jezu z dvema poljema in s pretočnostjo elektrarne 10 m³/s

Z višanjem pretoka na merilni postaji v Mostah se povečuje količina odvedene vode po Mestni Ljubljani. Najvišji izmerjeni pretok v Mostah, pri katerem je še dovoljeno obratovanje, je glede na podatke iz pravilnika $95 \text{ m}^3/\text{s}$ (Humar, 2011 - Slika 21). Razmerje med prelivnima poljema na Gruberjevem prekopu je, v primerih ko je potrebno po njem odvajati dodatno količino vode, konstantno (Slika 22).



Slika 22: Skica razporeditve pretokov – primer zapornice z dvema prelivnima poljema

Večanje pretoka preko drugega prelivnega polja bi namreč lahko bistveno znižalo učinkovitost elektrarne ali jo celo poškodovalo. V ekstremnem primeru se tako odvaja $2 \times 10 \text{ m}^3/\text{s}$ po Gruberjevem kanalu: $10 \text{ m}^3/\text{s}$ skozi elektrarno, $10 \text{ m}^3/\text{s}$ pa preko drugega prelivnega polja, preostanek pretoka, to je $75 \text{ m}^3/\text{s}$, pa se odvaja po Mestni Ljubljani. To pomeni, da so pogoji za obratovanje elektrarne omejeni na pretoke, izmerjene na vodomerni postaji Moste, med $10 \text{ m}^3/\text{s}$ in $95 \text{ m}^3/\text{s}$. Poudariti je potrebno, da v ob pretokih med $10 \text{ m}^3/\text{s}$ in $15 \text{ m}^3/\text{s}$ lahko s polno močjo obratuje samo ena turbina – v povprečju so taka stanja 33 dni v letu, v času pretokov med $15 \text{ m}^3/\text{s}$ in $95 \text{ m}^3/\text{s}$ pa s polno močjo obratujeta obe turbini – takšna stanja v povprečju trajajo 241 dni v letu (Slika 21). Ob takih pogojih je pridobljena energija v povprečnem letu približno 1400 MWh (PRILOGA E). Pri izračunu pridobljene energije sem v tem primeru privzel podatke za turbine Straflomatrix, ki imajo izkoristek približno 0,815, ker so lažje od turbin Hydromatrix in zato primernejše za to obliko zapornice. Izračun pridobljene energije glede na pretoke je prikazan v preglednici v prilogi (PRILOGA E), graf proizvodnje energije sledi (Slika 23).



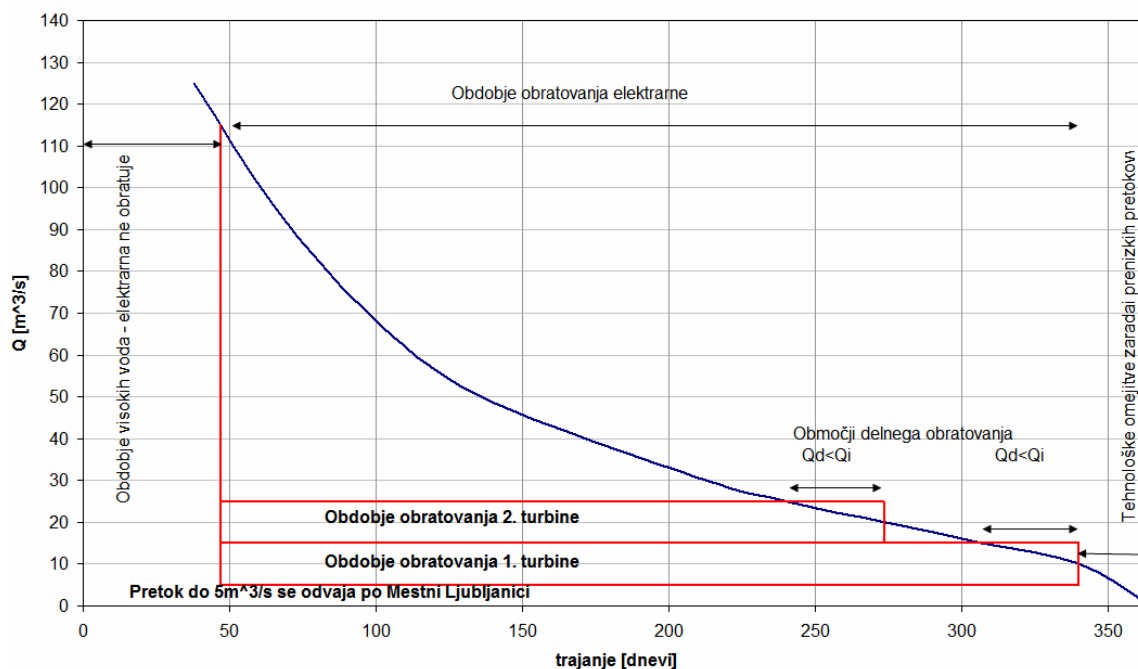
Slika 23: Proizvodnja elektrike – primer zapornice z dvema poljema in nameščenim pretokom elektrarne 2 x 5 m³/s

Graf proizvodnje elektrike predstavlja količino dnevno pridobljene električne energije in število dni, v katerih je takšna proizvodnja glede na razpoložljive pretoke mogoča. Površina, ki jo opisujejo količine pridobljene energije v posameznih časovnih okvirjih, predstavlja celotno letno proizvodnjo električne energije (Slika 23).

7.2.5.2 Primer večjih turbin

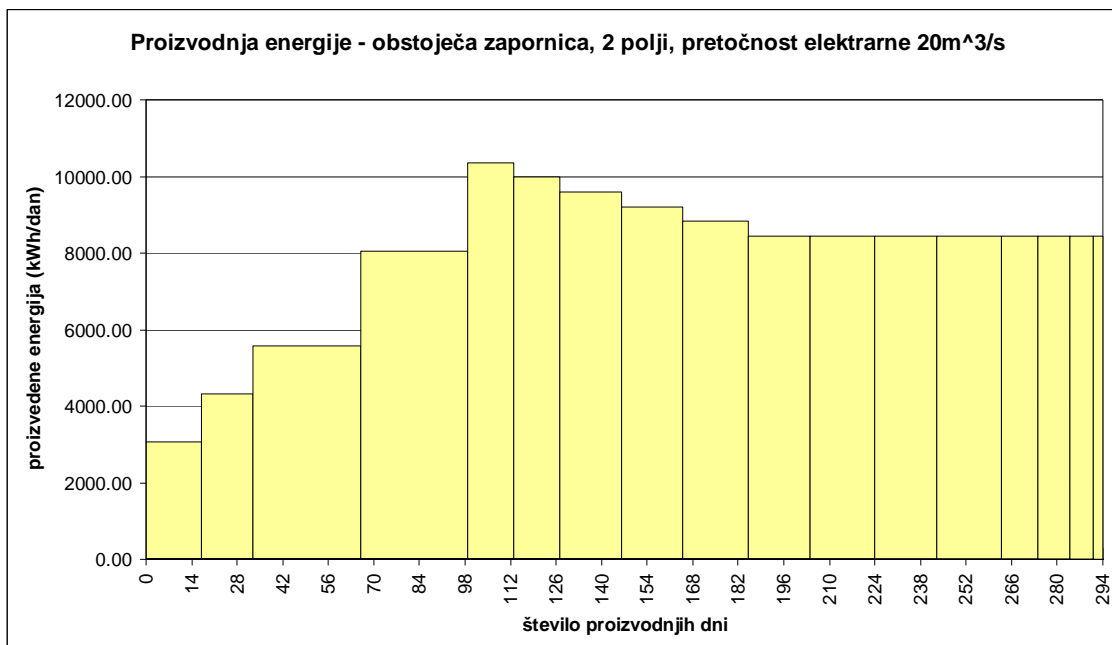
Drugi primer predstavlja podatke za večji turbini s pretokom 2 x 10 m³/s ali skupni inštalirani pretok elektrarne 20 m³/s. Tudi v tem primeru se po Ljubljani vedno, ko so pretoki dovolj veliki, odvaja minimalni ekološki sprejemljivi pretok, kar pomeni, da se po Mestni Ljubljani odvaja pretok 5 m³/s (Slika 24). Elektrarna z večjima turbinama obratuje od skupnega pretoka 10 m³/s naprej. V primeru pretokov med 10 m³/s in 15 m³/s je zaradi pretokov manjših od inštaliranih mogoče le delno obratovanje ene turbine. Ko pretok doseže vrednosti med 15 m³/s in 20 m³/s, obratuje ena turbina s polno kapaciteto (Slika 24). Pri izmerjenih pretokih med 20 m³/s in 25 m³/s deluje prva turbina s polno močjo, druga turbina pa obratuje delno (Slika 24).

Obratovanje elektrarne s skupnim pretokom $20 \text{ m}^3/\text{s}$ - varianta jezu z dvema poljema



Slika 24: Časovna razporeditev obratovanja turbine –varianta jezu z dvema poljema in s pretočnostjo elektrarne $20 \text{ m}^3/\text{s}$

S polno kapaciteto elektrarna obratuje v razponu med $25 \text{ m}^3/\text{s}$ in $115 \text{ m}^3/\text{s}$ pretokov v Mostah (Slika 24). To pomeni, da se v ekstremnem primeru pretoka $115 \text{ m}^3/\text{s}$ tudi pri tej izvedbi odvaja po Ljubljani $75 \text{ m}^3/\text{s}$, po Gruberjevem prekopu pa teče $2 \times 20 \text{ m}^3/\text{s}$ – to pomeni $20 \text{ m}^3/\text{s}$ preko elektrarne in $20 \text{ m}^3/\text{s}$ preko drugega prelivnega polja (Slika 22). Pretoki, ki omogočajo obratovanje ene turbine v povprečnem letu nastopajo 293 dni. Povprečno 227 dni v letu pa so izpolnjeni pogoji tudi za obratovanje druge turbine. To pomeni, da pretoki, ki omogočajo obratovanje samo ene turbine v povprečju nastopijo 66 dni v letu (Slika 24). Z večjima turbinama pridobimo v povprečnem letu približno 2400 MWh električne energije. Tudi za izračun energije pri primeru večjih turbin sem privzel enake podatke glede turbine kot pri primeru manjše turbine – Straflomatrix, izkoristek 0,815. Graf proizvodnje energije z večjima turbinama kaže, da je njihova namestitve bolj upravičena, saj je količina pridobljene električne energije opazno višja kot v primeru manjših turbin (Slika 25). Izračun pridobljene energije je prikazan v prilogi (PRILOGA E).



Slika 25: Proizvodnja elektrike – primer zapornice z dvema poljema in nameščenim pretokom elektrarne 2 x 10 m³/s

7.2.6 Organizacija gradnje

Pri gradnji v območju vodnega telesa je poleg ostalih problemov organizacije gradnje in gradbišča pomembno pozornost potrebno posvetiti osuševanju gradbene jame v času gradnje. Upoštevati je potrebno številne pogoje, ki narekujejo, kako je mogoče osušiti gradbeno jamo. Zaščita gradbene jame predstavlja zahteven poseg, pri katerem je potrebno upoštevati topografijo terena, mikrolokacijo nameravane gradnje, vrsto kamenine in sestavo tal, značilne pretoke vodnega telesa, pojavnost visokih voda in njihovo razporeditev glede na časovno obdobje in čas, potreben za gradbene posege. Časovni okvir je zaradi lažje zaščite gradbene jame smiselno oziroma nujno načrtovati v sušnem obdobju. Glede na zbrane podatke o hidroloških značilnosti Ljubljance in glede na zgodovinske podatke o izmerjenih pretokih na vodomerni postaji Moste je najprimernejši čas za gradnjo med junijem in septembrom.

7.2.6.1 Gradbena jama

Varovanje gradbene jame je načrtovano tako, da zadosti pogoju glede ohranjanja kote zaježitve pri 285,6 m in da je mogoč odvod minimalnih pretokov po Gruberjevem prekopu. Zagotovljena mora biti tudi stabilnost brežin, saj v bližini potekata železnica in cesta. Zaradi teh pogojev se gradbeno jamo zaščiti z gorvodnim nasipom prodnega materiala. Za tesnjenje

se bodo uporabile zagatne stene. Za odvajanje minimalnih pretokov bo po dnu položena cev s premerom 100 cm, ki bo imela na koncu zasun za zadrževanje predvidene kote vodne gladine. Predviden je odvod vode približno med 2,5 m³/s in 3,5 m³/s. Zgornja meja predvidenega odtoka po položenih ceveh še ustreza pogojem iz obratovalnega pravilnika (Humar, 2011) in njegovim določilom glede minimalnega ekološko sprejemljivega pretoka in deleže pretoka, ki se odvaja skozi Gruberjev prekop. Preostanek pretoka, ki bi sicer tekel po Gruberjevem prekopu, bo tekel po Mestni Ljubljani. Največji srednji mesečni pretok v mesecih, ko je načrtovana gradnja, je namreč 50,8 m³/s. Pretočnost Mestne Ljubljane je v okviru visokih voda ocenjena na približno 62 m³/s, v primeru višjih pretokov pa je zaradi zagotavljanja poplavne varnosti višje ležečih območij predvideno kontrolirano poplavljanje dela gradbišča in na ta način odtekanje presežnih pretokov (delno povzeto po Kovačič et al, 2000).

7.2.6.2 Dostopnost objekta

Dostop do sedanjega objekta je urejen iz smeri Roške ceste in zadostuje za potrebe gradbišča (PRILOGA D). Dovolj je tudi prostora za dostop avtodvigala za montažo prefabriciranih elementov energetskega dela objekta in dostavo vseh potrebnih elementov, strojev in mehanizacije za predvidena dela na objektu. Skladišče za potrebe gradbišča se lahko v primeru obnove stare zapornice uredi na območju med Roško cesto, Gruberjevim prekopom in objektom Roška cesta 2a. Dostop z obrežja na območje gradbišča bo urejen po nasipu, ki je predviden kot del ukrepov za zaščito gradbene jame in gradbišča. Lokacija skladišča je izbrana glede na njeno oddaljenost od ceste, glede na oddaljenost od gradbišča in glede na predvidene stroške vzpostavitve gradbišča (PRILOGA D).

7.2.7 Analiza vplivov obravnavanega posega na okolje

7.2.7.1 Voda

Obravnavani poseg se bo izvajal na vodnem telesu Gruberjevega prekopa. Območje se nahaja v širšem vodovarstvenem območju VVO3 (Slika 26). Za to območje Uredba o spremembah in dopolnitvah Uredbe o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnika Ljubljanskega polja (UL 1/12) za izgradnjo energetskih objektov določa: »Izjemoma je dovoljena gradnja objektov ter izvajanje gradbenih del, kadar gre za poseg v skladu z državnim prostorskim načrtom ali občinskim podrobnim prostorskim načrtom in za katerega je izvedena celovita presoja vplivov na okolje ter pridobljeno okoljevarstveno soglasje v skladu s predpisi, ki urejajo varstvo okolja. Sprejemljivost vplivov na vodni režim in stanje vodnega telesa ter vplive zaščitnih ukrepov na zmanjšanje tveganja za onesnaženje preverja

ministrstvo na podlagi ugotovitev analize tveganja za onesnaženje v postopku izdaje mnenja k državnemu prostorskemu načrtu ali občinskemu podrobnemu prostorskemu načrtu« (UL 1/12).



Slika 26: Vodovarstveno območje, z zeleno je označeno območje VVO3 (Urbinfo, 2013)

Termin za obnovo objekta je potrebno prilagoditi hidrološkim značilnostim na širšem območju, saj bo prevodnost Gruberjevega prekopa med obnovo omejena, tako da bi bil v primeru posega v obdobju visokih voda lahko pretok po Mestni Ljubljani previsok, v najslabšem primeru pa bi lahko prišlo celo do poplav na Barju. Glede na zbrane podatke o hidroloških značilnosti Ljubljane in glede na zgodovinske podatke o izmerjenih pretokih na vodomerni postaji Moste je najprimernejši čas za izvedbo med junijem in septembrom, kar je bilo ugotovljeno že v poglavjih, ki opisujejo organizacijo gradnje.

Poseg bo v času obnove bistveno vplival na vodni režim Gruberjevega prekopa, saj je za potrebe obnove zapornice nujna regulacija vodnega toka. Glede na izvedbo varovanja gradbišča pred vdorom vode je mogoče določiti podrobnejše vplive na vodno okolje. Predlagana rešitev zaščite gradbene jame ima v času gradnje velik vpliv na vodno okolje. Predvidena je namreč izvedba zaježitve celotne širine struge Gruberjevega prekopa, po dnu pa so speljane cevi za odvajanje minimalnega ekološko sprejemljivega pretoka v Gruberjev prekop. Tako bodo razmere na območju dolvodno od posega tudi v času gradnje

enakovredne razmeram v tem delu Gruberjevega prekopa v času minimalno ekološko sprejemljivih pretokov. Preostanek pretoka Ljubljanice, ki bi sicer tekkel po strugi Gruberjevega prekopa, bo preusmerjen v strugo Mestne Ljubljanice. Vpliv na podzemne vode bo med gradnjo zaznaven. Vrsta in obseg vpliva sta odvisna predvsem od izvedbe temeljenja. Z izvedbo predvidenega sistema pilotiranja se vpliv na podzemne vode omeji na najmanjši mogoči obseg.

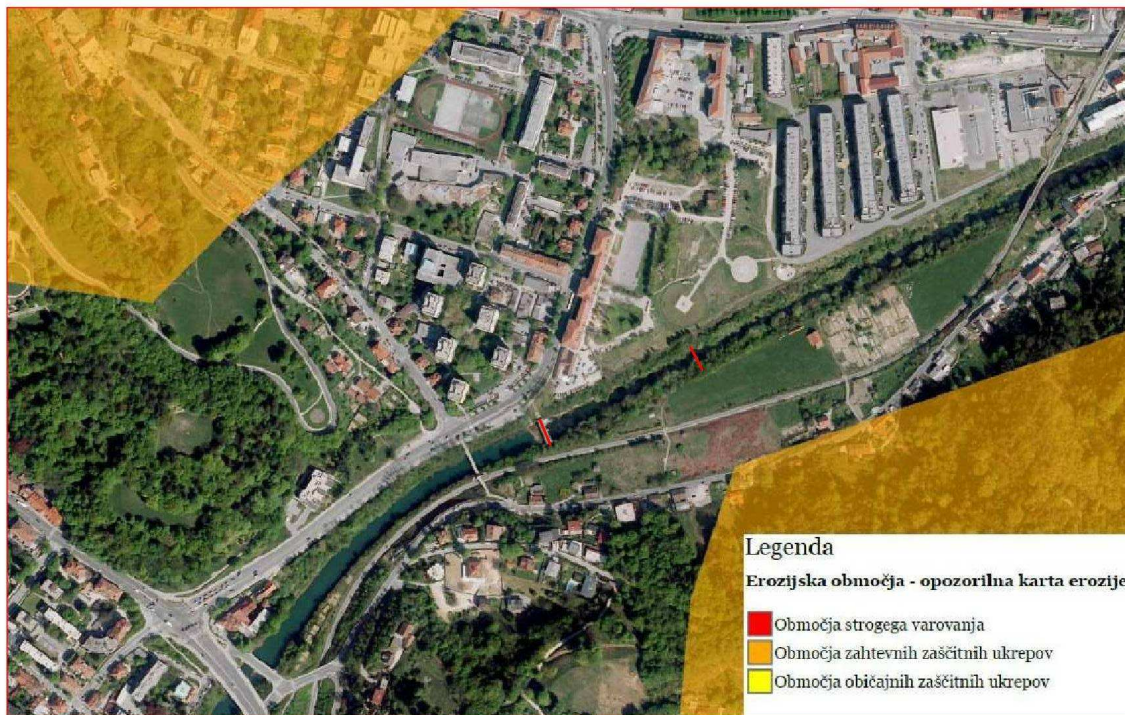
Vpliv na površinske in podzemne vode bo v času obratovanja neznatno. To pomeni, da se pogoji glede na trenutno stanje ne bodo poslabšali.

7.2.7.2 Zrak in hrup

V času rekonstrukcijskih del bo negativen vpliv na zrak v bližnji okolici zaznaven, a ne bo večji kot na vsakem gradbišču primerljive velikosti. Med gradnjo lahko zaradi gradbišča samega lokalno pričakujemo povečano stopnjo hrupa, zaradi gradbišča samega. Okoliški prebivalci naj bi se nad povečano stopnjo hrupa pritoževali tudi že v času, ko je bila na obstoječi zapornici nameščena turbina za pridobivanje električne energije. Zgrajeni objekt na kakovost zraka v okolici ne bo imel nobenega vpliva. Hrup pa se po dograditvi novega objekta ne bo povečal. Predvideni so namreč novejši – tišji sistemi za manipulacijo z zapornico in moderne turbine, ki oddajajo zelo malo hrupa. Hrup bo v času obratovanja zaznaven le ob hkratnem izpadu dobave električne energije in potrebi po manipulaciji zapornice zaradi spremembe pretokov na vodomerni postaji Moste. V tem primeru bo potreben zagon pomožnih agregatov na dizelski pogon, ki služijo za pomožni pogon sistema dviga in spusta zapornic. V času obratovanja teh agregatov je mogoča krajša povišana stopnja hrupa, vendar bo ostala v okviru zakonskih določil za to območje. Če bi se izkazalo, da bodo mejne vrednosti dovoljenega hrupa, kot jih navaja izdelovalec opreme, presežene, je potrebno elemente, ki bodo te vrednosti presegali dodatno zvočno zaščititi. Karta hrupa MOL uvršča obravnavano območje v IV. stopnjo varstva pred hrupom, v okolici pa je označeno Območje možne prekomerne obremenitve s hrupom (Urbinfo, 2013). Zahteve za območje IV. stopnje varstva pred hrupom so glede na del dneva omejena na 73 dBA čez dan, 68 dBA zvečer in 63 dBA ponoči. Navedene vrednosti veljajo v območju omenjenega varstva za hrup, povzročen s strani objekta ali naprave, ki ni večje letališče, helikoptersko vzletišče, objekt za pretovor blaga ali odprto parkirišče (povzeto po UL 105/05).

7.2.7.3 Tla

Obnova zapornice in namestitve matrične turbine nanjo zahteva določene posege v temeljna tla. Potrebno je zagotoviti in izvesti primerno obliko temeljenja za rekonstrukcijska dela (delna poglobitev struge), med samo gradnjo pa bo na tla vplivala tudi zaščita gradbene jame. Ko bo objekt dokončan, bo vpliv na tleh opazen samo v strugi prekopa, saj je za tovrstne posege v telo vodotoka potrebna zaščita podslapja in struge v projektirani dolžini vodotoka. Prav tako je potrebno zaščititi omočeni in neomočeni del struge s predpisanimi materiali, da se prepreči erozijo. Lokacija obravnavane ureditve se sicer glede na pridobljene podatke (Atlas okolja, 2013) ne uvršča med plazljiva območja (Karta verjetnosti pojavljanja plazov – Slika 40) in tudi ne med plazovita območja. Prav tako na tem območju ni nevarnosti erozije (Atlas okolja, 2013 – Slika 27), vendar gre za poseg na področju vodnega telesa in je zaradi tega potrebno zavarovati brežine Gruberjevega prekopa ter tako preprečiti posipanje materiala v njegovo strugo. Opravljene geomehanske raziskave so pokazale, da so tla na področju zapornice (vrtina na levem bregu, neposredno ob zapornici, Kovačič et al., 2000) do globine 7,9 m sestavljena iz prodov z meljem oziroma dobro granuliranih prodov, z izjemo vmesnega vložka meljne gline. Na globini 7,9 m se pričnejo plasti skrilavih glinovcev oziroma peščenjakov, ki so prepelele oziroma tektonsko pretirte. Tudi omenjene plasti peščenjakov so sorazmerno trdne (povzeto po Kovačič et al, 2000).



Slika 27: Opozorilna karta erozije (Atlas okolja, dec 20013)

7.2.7.4 Človek

Bivanjski pogoji v okolici nameravane rekonstrukcije se bodo za časa gradnje nekoliko poslabšali. Zaradi potrebe gradbišča bo v tem času nekoliko povečan in moten promet na Roški cesti in okoli njenega križišča s Streliško ulico, saj je v neposredni bližini tega križišča predviden uvoz na gradbišče. Na spremembo bivanjskih pogojev za človeka pomembno vplivajo tudi dejstva, opredeljena v odstavku, ki opisuje vplive na okolje, povzročene zaradi hrupa naprave, ter v odstavku, ki opredeljuje vplive objekta na zrak v okolici nameravane rekonstrukcije. Med gradnjo bo zaradi obratovanja gradbišča prisotna nekoliko višja stopnja izpušnih plinov. Mogoča so tudi kratkotrajna obdobja povečane stopnje hrupa, prav tako zaradi obratovanja gradbišča. Po dokončanju gradnj se bodo pogoji za življenje v okolici izboljšali, saj bo prenovljeni objekt postal lep del grajenega okolja.

7.2.7.5 Živali

Območje Gruberjevega prekopa je opredeljeno kot Potencialno posebno ohranitveno območje Nature 2000 (Natura, 2013). Ohranitveno območje je opredeljeno za naslednje vrste in habitatne tipe

- navadni škržek (*Unio crassus*)
- kačji potočnik (*Ophiogomphus cecilia*)
- potočni piškurji (*Eudontomyzon* spp.)
- sulec (*Hucho hucho*)
- platnica (*Rutilus rutilus*)
- blistavec (*Leuciscus souffia*)
- pohra (*Barbus meridionalis*)
- zlata nežica (*Sabanejewia aurata*)
- navadna nežica (*Cobitis taenia*)
- kapelj (*Cottus gobio*)
- velika nežica (*Cobitis elongata*)

Vpliv na življenjsko okolje habitatnih vrst, ki živijo v vodnem okolju, bo med obnovo velik, saj bo del struge potrebno izsušiti za potrebe izvedbe temeljenja in poglobitve dela struge. Na vrste, ki živijo na bregovih Gruberjevega prekopa, pa poseg ne bo imel bistvenega vpliva. Pred posegom je potrebno preveriti, katero časovno obdobje bi bilo najbolj primerno za poseg, glede na navade, obnašanje in potrebe tu živečih živalskih vrst. Po sanaciji objekta bodo pogoji za življenje in razvoj tu živečih živalskih vrst enakovredni pogojem pred posegom v prostor.



Slika 28: Sulec (Ljubljana povezuje, 2013)

7.2.7.6 Rastlinje

Na rastlinje bodo med obnovo objekta vplivali nujno potrebni posegi za organizacijo gradbišča. Večji posegi ne bodo potrebni, prav tako bo po dograditvi oziroma rekonstrukciji objekta vzpostavljeno urejeno stanje vegetacije v njegovi bližnji okolici in ostalih zaradi gradnje prizadetih območjih.

7.2.7.7 Grajeno okolje

Vpliv na grajeno okolje bo opazen, saj gre za rekonstrukcijo objekta, ki ga lahko prištevamo med tehnično kulturno dediščino. Obnova objekta takega pomena ima izrazito pozitiven vpliv na grajeno okolje, saj lepo obnovljeni objekt predstavlja pozitivno dominantno v prostoru.

7.2.8 Ocena investicije in njena upravičenost

Ocena nameravane investicije deloma temelji na podatkih iz predračuna, ki je osnova projekta za pridobitev gradbenega dovoljenja za obnovo zapornice na Gruberjevem prekopu (Kovačič et al, 2000), deloma na informacijah, pridobljenih s strani proizvajalca, in deloma na podatkih preteklih investicij z Matrix turbinami. Pri odločitvi o obnovi stare zapornice je smiselno razmisliti o gradnji nove oziroma o delni porušitvi stare, saj je cena obnove skoraj enaka postavitvi nove zapornice. Postavitev hidromehanske opreme na sedanji objekt je dražja, saj prenova zahteva določene prilagoditve in prilagojeno izbiro hidromehanskih elementov, kar je dražje. Pri obnovi obstoječe stavbe pa so cenejša gradbena dela. Pri

ostalih postavkah so razlike v ceni majhne. Primerjava ocen investicije je opredeljena v naslednji preglednici (Preglednica 7).

Preglednica 7: Primerjava investicije za obstoječi jez

Obstoječa	prenova	Obstoječa z elektrarno nova			Obstoječa z elektrarno prenova		
		pretok elektrarne	10	20	pretok elektrarne	10	20
Preddela	150.000	Preddela	133.000	133.000	Preddela	150.000	150.000
Gradbena jama	405.000	Gradbena jama	405.000	405.000	Gradbena jama	405.000	405.000
Zemeljska dela	17.000	Zemeljska dela	30.000	30.000	Zemeljska dela	20.000	20.000
Gradbena dela	273.000	Gradbena dela	553.000	553.000	Gradbena dela	273.000	273.000
Hidromehanska oprema	780.000	Hidromehanska oprema	630.000	630.000	Hidromehanska oprema	830.000	830.000
Ostalo	50.000	Ostalo	50.000	50.000	Ostalo	70.000	70.000
Varovanje struge	47.000	Varovanje struge	47.000	47.000	Varovanje struge	47.000	47.000
		Elektrarna	382.568	712.368	Elektrarna	382.568	712.368
SKUPAJ	1.722.000	SKUPAJ	2.230.568	2.560.368	SKUPAJ	2.177.568	2.507.368
		Dodatna dela za elektrarno	508.568	838.368	Dodatna dela za elektrarno	455.568	785.368

Za izračun upravičenosti investicije sem privzel podatke o pridobljeni električni energiji za obe moči elektrarne (PRILOGA E). Izračunal sem odkupno ceno za proizvedeno električno energijo in odštel stroške obratovanja. Med stroške obratovanja je vključeno redno vzdrževanje strojnice po navodilih proizvajalca in stroški nadzornika elektrarne. Za odkupno ceno električne energije sem privzel podatke odkupnih cen električne energije za hidroelektrarne manjše od 1 MW nameščene moči v letu 2014, ki znaša 92,61 €/MWh (Borzen, 2014). Doba vračanja investicije je izračunana za oba obravnavana predloga uporabe turbin – s pretočnostjo elektrarne 10 m³/s oziroma 20 m³/s. Poleg dobe povrnitve investicije je v preglednici (Preglednica 8) posebej navedena ocena investicije za posamezen primer elektrarne, dobiček od prodaje električne energije in letni strošek obratovanja. Izračuni za moč elektrarne in izračuni za pridobljeno energijo navedeni v prilogi (PRILOGA E).

Preglednica 8: Povrnitev investicije za obnovljen zapornični objekt

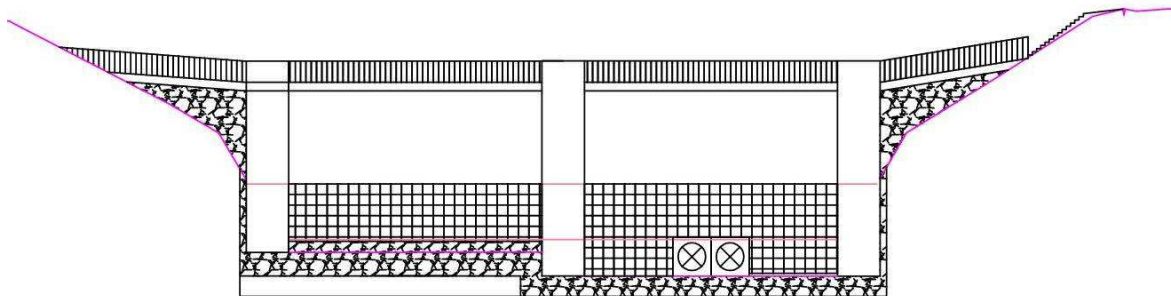
	Enota	Stara zapornica z dvema poljema:	
Pretočnost elektrarne	(m ³ /s)	10	20
Moč elektrarne	(kW)	232	432
Pridobljena energija	(kWh)	1.429.445	2.380.074
Dohodek od prodaje	(€/leto)	132.381	220.419
Strošek obratovanja	(€/leto)	15.000	15.000
Dobiček od prodaje	(€/leto)	117.381	205.419
Cena elektrarne	(€)	382.568	712.368
Dodatek investicije v zapornico	(€)	73.000	73.000
Celotna investicija	(€)	2.177.568	2.507.368
Povrnitev celotne investicije	(leto)	18,55	12,21

7.3 Idejna zasnova variante z gradnjo nove zapornice in namestitvijo matrix turbine

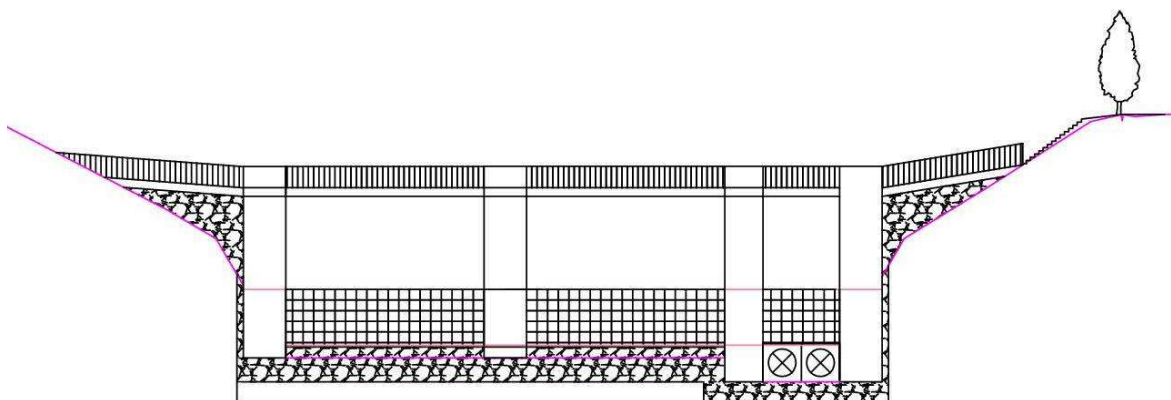
7.3.1 Tehnični opis rešitve in načrti

Kot drugo varianto sanacijskih del na Gruberjevem prekopu sem opisal gradnjo novega objekta približno 150 m dolvodno od stare zapornice. V nadaljevanju sta predstavljeni dve variantni rešitvi za gradnjo nove zapornice z izkoriščanjem vodnega potenciala. Pri obeh variantah nove zapornice je predvidena izdelava praga v višini 0,5 m, ki je lepo zaobljen in dimenzioniran, kot je prikazano v izračunih, ki sledijo in načrtih (PRILOGI B in C). V obeh primerih je predvideno tudi podslapje na izračunani dolžini 8,5 m in pripadajoča zaščita dna vodotoka v dolžini približno 10 m, ki je zaključena z izvedbo pilotiranja za preprečitev spiranja zaščite. V dolžini podslapja in zaščite dna struge je predvidena ojačitev omočenega oboda struge s skalometom. Ostali del oboda bo v obeh primerih ojačan z armirano zemljino in zatravljen. Za ostale dele struge, kjer se bodo izvajala dela in bo zaradi tega povečana nevarnost plazenja zemljin v strugo prekopa, so predvidene primerne ojačitve in ureditve, izvedene s pilotiranjem in armiranjem zemljine.

Predvidena dela zajemajo gradnjo gradbenega dela zaporničnega objekta, in sicer stebre zapornice, zgornjo ploščad s premostitvenim objektom in prag zapornice. Širina stebrov je v vseh variantah 2 m. Pri varianti IIa je vsota širine prelivnih polj 24 m, v primeru variante IIb pa je vsota širine vseh treh prelivnih polj 22,2 m, kar je enako kot v primeru obnove zapornice. Dobavljena in nameščena bo hidromehanska oprema z zapornico, njenimi vodili, hidravličnimi pogoni in ostala pripadajoča oprema. Upravljanje z zapornico bo avtomatizirano z možnostjo daljinskega in ročnega upravljanja. Za dvig zapornice je predviden električni pogon, ki se v primeru izpada električne energije priklopi na predvideni električni generator. Za potrebe namestitve elektrarne je potrebno predvideti izvedbo poglobitve na prelivnem polju, kjer bo nameščena elektrarna, kar je prikazano v vzdolžnih prerezih obeh variantnih rešitev (Sliki 29 in 30). Pri varianti IIa je predvidena poglobitev na polovici struge Gruberjevega prekopa, pri varianti IIb pa je poglobitev predvidena samo na tretjem – ozkem prelivnem polju, kjer je nameščena elektrarna. Ostale pomembne lastnosti objekta so prikazane v načrtih situacije in prečnih prerezih (PRILOGI B in C).



Slika 29: Vzdolžni prerez objekta – varianta IIa



Slika 30: Vzdolžni prerez objekta – varianta IIb

7.3.2 Izračun višine gladine dolvodno od zapornice

Izračun višine gladine dolvodno od zapornice pri minimalnem pretoku je pri novi zapornici izračunan po enakem postopku kot pri sedanjji zapornici. Karakteristike struge se na obravnavanih 150 m dolvodno ne spreminjajo tako bistveno, da bi se to poznalo pri določitvi Manningovega koeficienta. Zaradi tega sem vzel enako vrednost Manningovega koeficienta kot pri varianti z obnovo sedanjega objekta. Zaradi tega je tudi višina gladine dolvodno od zapornic pri novem objektu enaka višini pri obnovljenem objektu, to je približno 0,4 m.

7.3.3 Dimenzioniranje praga

Za dimenzioniranje praga novega objekta sem uporabil enake predpostavke kot za dimenzioniranje praga sedanjega objekta. Rezultati so zato zelo podobni, pri varianti s posebnim prelivnim poljem za energetske izrabo so celo enaki, saj je širina korita enaka kot pri obnovljeni zapornici.

Širina korita pri novi zapornici z dvema prelivnima poljema je 24 m.

$B = 24 \text{ m}$... širina korita (vsota širin prelivnih polj)

Enako kot pri izračunu za obnovljeno zapornico izračunamo zoožitev pretočne širine, ki nastane pri obtekanju stebrov in dobimo širino z upoštevanjem kontrakcije:

$$B_c = 23,7 \text{ m.}$$

Z upoštevanjem koeficienta zoženja dobimo specifični pretok izražen na enoto širine prelivanja:

$$q_{max} = 8,44 \text{ m}^3/\text{s m.}$$

Iteracijsko določimo vrednosti:

$$H_0 = 3,0 \text{ m}$$

$$H = 2,36 \text{ m.}$$

Višina praga ostane enaka kot pri obnovljenem objektu:

$$p = 0,5 \text{ m}$$

$$h_{kr} = 1,94 \text{ m}$$

$$p_{max} = 1,06 \text{ m} > p.$$

Vrednost prve konjugirane gladine je:

$$h' = 1,7 \text{ m.}$$

S pomočjo prve konjugirane gladine izračunana vrednost π_{k1} je:

$$\pi_{k1} = 1,47.$$

Vrednost druge konjugirane gladin pa je:

$$h'' = 2,51 \text{ m.}$$

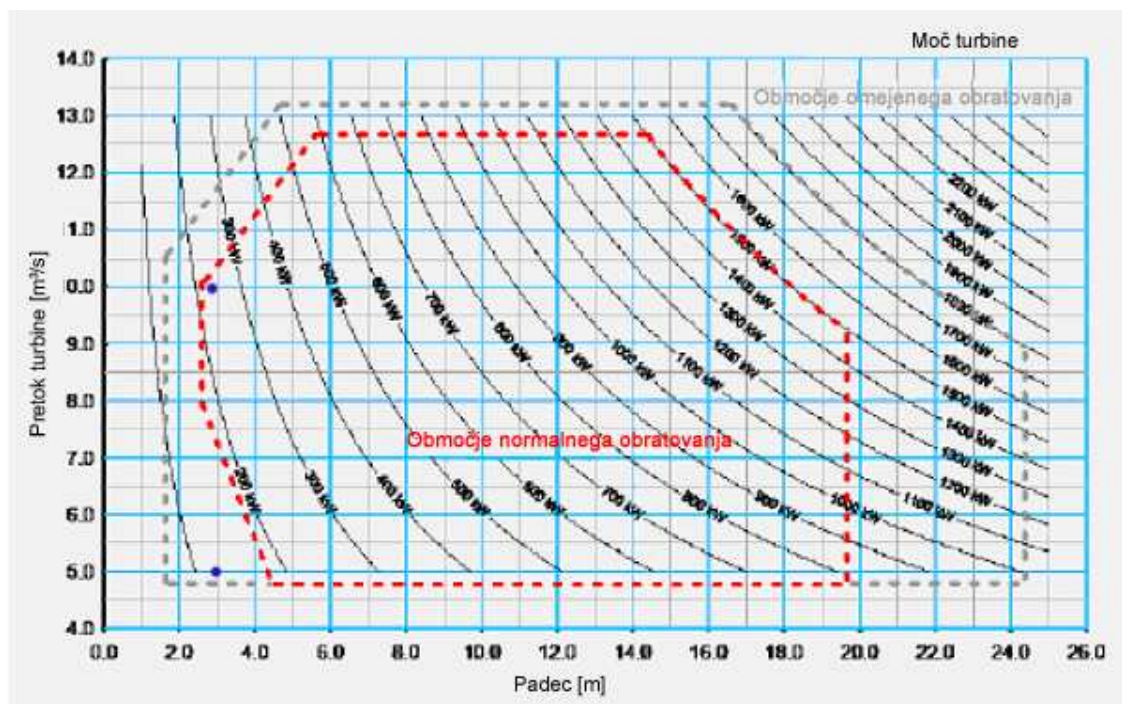
S konjugiranimi gladinama je izračunana dolžin skoka:

$L = 8,4 \text{ m.}$

7.3.4 Izbor turbine

Razlika med obema variantama, obravnavanima v tem delu, je ta, da je pri prvi varianti namestitev energetskega modula podobna namestitvi na obnovljeni zapornici, pri drugi varianti pa je predviden poseben kanal za energetski modul, poleg kanala pa sta dve polji z zapornicama. Iz enakega razloga kot pri obnovljeni zapornici je za varianto IIa predviden sistem Starflomatrix. V variantni rešitvi IIb pa je mogoče vgraditi sistem Hydromatrix. Masa zapornice je v tem primeru zaradi ozkega prelivnega polja manjša in zaradi tega je kljub večji masi sistema Hydromatrix njegova vgradnja mogoča. Za sistem Hydromatrix sem se v varianti IIb odločil zaradi njegovega nekoliko večjega izkoristka.

Na vzdolžnem in prečnem prerezu je v obeh primerih videti poglobitev (Sliki 29 in 30), ki je potrebna zaradi vgradnje hidroelektrarne. Proizvajalec namreč predpisuje najmanjšo potopljenost enot. V prečnih prerezih so označene vodne gladine. V varianti IIa je predvidena namestitev dveh enot Straflomatrix, vsaka dimenzionirana za pretok $5 \text{ m}^3/\text{s}$ in inštalirano močjo 122 kW , celotna elektrarna ima tako inštaliran pretok $10 \text{ m}^3/\text{s}$ in moč 244 kW (Slika 20). V primeru močnejših turbin pa ima vsaka turbina inštaliran pretok $10 \text{ m}^3/\text{s}$ in moč 228 kW , kar za celotno elektrarno pomeni pretok $20 \text{ m}^3/\text{s}$ in moč 456 kW (Slika 20). V varianti IIb pa je predvidena namestitev dveh enot Hydromatrix, vsaka dimenzionirana za pretok $5 \text{ m}^3/\text{s}$ in inštalirano močjo 130 kW , kar pomeni skupen pretok elektrarne $10 \text{ m}^3/\text{s}$ in njeno moč 260 kW . V primeru namestitve močnejših turbin pa je pretok posamezne turbine $10 \text{ m}^3/\text{s}$ in njena moč 242 kW , kar za elektrarno pomeni skupni nameščeni pretok $20 \text{ m}^3/\text{s}$ in skupno moč 484 kW (Slika 31). Izbor temelji na podatkih, pridobljenih s strani podjetja Andritz, in na izračunu razpoložljivih pretokov in s tem povezanega dobitka energije (PRILOGA E).

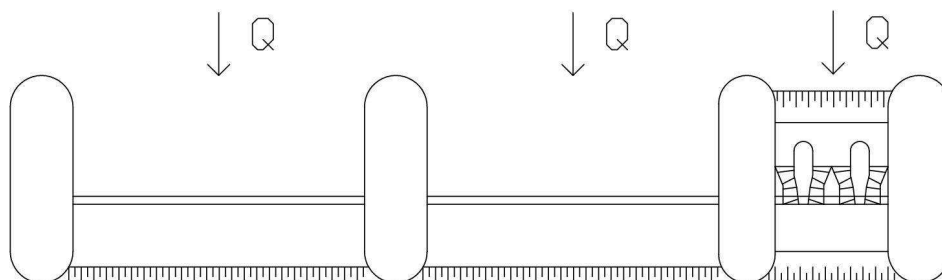


Slika 31: Obratovalni diagram – z modrima pikama sta označeni predlagani moči posamezne turbine Hydromatrix (za primer jezua z dvema prelivnima poljema je diagram prikazan na Sliki 20) (prirejeno po Andritz, 2013)

7.3.5 Energetska izraba obravnavane rešitve

Tudi v varianti z gradnjo nove zapornice 150 m dolvodno so osnove za izračun enake kot v varianti obnove zapornice. Tudi v tem primeru se vedno, kadar je mogoče po Mestni Ljubljani odvaja minimalni ekološko sprejemljivi pretok – to je $5 \text{ m}^3/\text{s}$. V nadaljevanju pa sledi izračun za primer variante s tremi prelivnimi polji, to je s posebnim poljem za elektrarno. Tudi v tem primeru sem proučil možnosti uporabe turbin različnih moči, in sicer v prvem primeru turbine s pretočnostjo $5 \text{ m}^3/\text{s}$ (celotna elektrarna $10 \text{ m}^3/\text{s}$) in v drugem primeru s pretočnostjo $10 \text{ m}^3/\text{s}$ (celotna elektrarna $20 \text{ m}^3/\text{s}$). Za varianto z dvema prelivnima poljema na novi zapornici so pretoki pri katerih je mogoče delovanje elektrarne enaki kot v primeru obnove stare zapornice, zato preračun za varianto z dvema prelivnima poljema ni še enkrat podrobno opisan. Razlika pa se pojavlja pri nameščeni moči elektrarne in posledično pri pridobljeni električni energiji. To je posledica nižje lege nove zapornice in s tem nekoliko višjega padca na elektrarni. Moč elektrarne pri nameščenem pretoku $5 \text{ m}^3/\text{s}$ na turbino ($10 \text{ m}^3/\text{s}$ za celotno elektrarno) je tako skoraj 250 kW, v povprečnem letu pa se pridobi približno 1500 MWh energije. V primeru s pretočnostjo $10 \text{ m}^3/\text{s}$ ($20 \text{ m}^3/\text{s}$ za celotno elektrarno) je moč elektrarne nekaj manj kot 460 kW pridobljena energija pa 2500 MWh (PRILOGA E). Nekoliko se razlikujejo tudi grafi pridobljene električne energije, kar je tudi posledica lege objekta 150

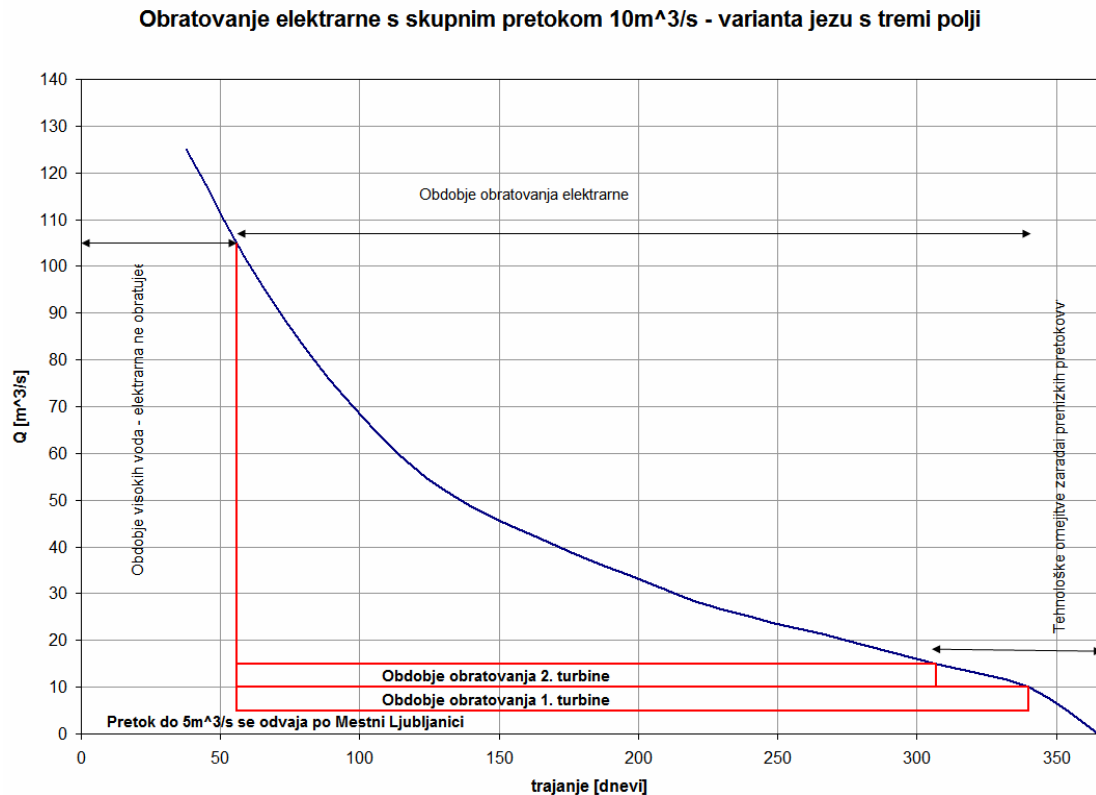
m dolvodno (PRILOGA E). V nadaljevanju je podrobneje predstavljen izračun za primer nove zapornice s tremi prelivnimi polji (Slika 32) in variantno z dvema različnima vrstama turbin, glede na pretočnost turbine: 5 m³/s (inštalirani pretok elektrarne 10 m³/s) oziroma pretočnost ene turbine 10 m³/s (inštalirani pretok elektrarne 20 m³/s).



Slika 32: Skica razporeditve pretokov: primer zapornice s tremi prelivnimi polji (v primeru nove zapornice z dvema prelivnima poljema je skica pretokov enaka kot na Sliki 22)

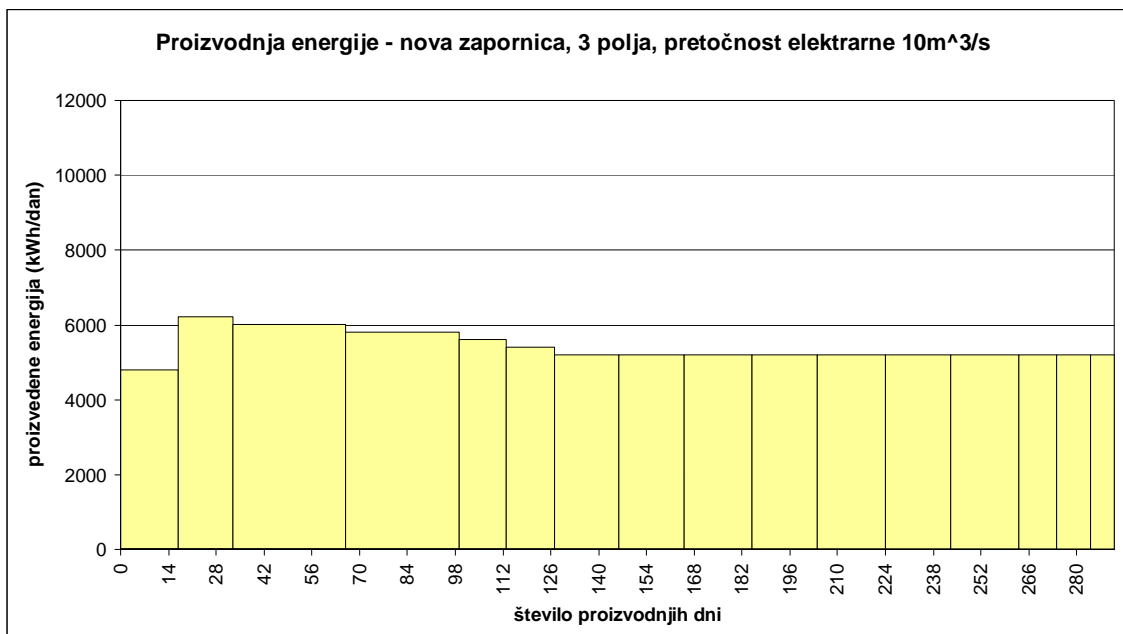
7.3.5.1 Primer manjših turbin

V primeru s tremi prelivnimi polji sem tako kot v primeru z dvema poljema kot manjšo varianto turbine predvidel turbino s pretočnostjo 5 m³/s (inštalirani pretok elektrarne je tako 10 m³/s). Tudi v tem primeru so minimalni pretoki za obratovanje ene oziroma obeh turbin enaki kot v primeru dveh pretočnih polj: do 10 m³/s pretoka elektrarna ne obratuje zaradi tehnoloških zahtev proizvajalca. Ob pretoku med 10 m³/s in 15 m³/s so izpolnjeni pogoji za obratovanje ene turbine, ob pretoku nad 15 m³/s pa so pogoji izpolnjeni za obratovanje celotne elektrarne (Slika 33).



Slika 33: Časovna razporeditev obratovanja turbine –varianta jezu s tremi polji in s pretočnostjo elektrarne $10\text{ m}^3/\text{s}$

Tako kot v izračunu za dve prelivni polji sem tudi tu predpostavil, da se, kadar je to mogoče, minimalni ekološko sprejemljivi pretok odvaja po Mestni Ljubljani, z višanjem pretoka na vodomerni postaji Moste pa se pretok na Mestni Ljubljani povečuje do pretoka $75\text{ m}^3/\text{s}$. Razlika glede na primer z dvema pretočnima poljema je v tem, da je v primeru treh pretočnih polj mogoče po Gruberjevem prekopu ob obratovanju elektrarne prevajati največ $3 \times 10\text{ m}^3/\text{s}$ namesto $2 \times 10\text{ m}^3/\text{s}$ kot v primeru dveh pretočnih polj (Sliki 22 in 32). Teh dodatnih $10\text{ m}^3/\text{s}$ pretoka po Gruberjevem kanalu pomeni, da je skupni pretok, ki še omogoča varno in učinkovito delovanje hidroelektrarne v primeru šibkejših turbin in treh prelivnih polji pri $105\text{ m}^3/\text{s}$, merjeno v Mostah. To pomeni, da je število dni v letu, ko je mogoče obratovanje celotne elektrarne nekoliko večje. Število dni se tako poveča za dobre štiri odstotke in naraste na 251 dni v letu (Slika 33), količina pridobljene energije pa se pri moči elektrarne 259 kW povzpne na približno 1550 MWh na leto (PRILOGA E). Graf proizvodnje nam prikazuje, da je količina pridobljene energije skozi celotno obdobje približno konstantna (Slika 34). Ploščina grafa proizvodnje energije predstavlja celotno letno pridobljeno električno energijo. Grafa proizvodnje energije za primer novega objekta z dvema prelivnima poljema in izračun pridobljene energije se nahajata v prilogi (PRILOGA E).



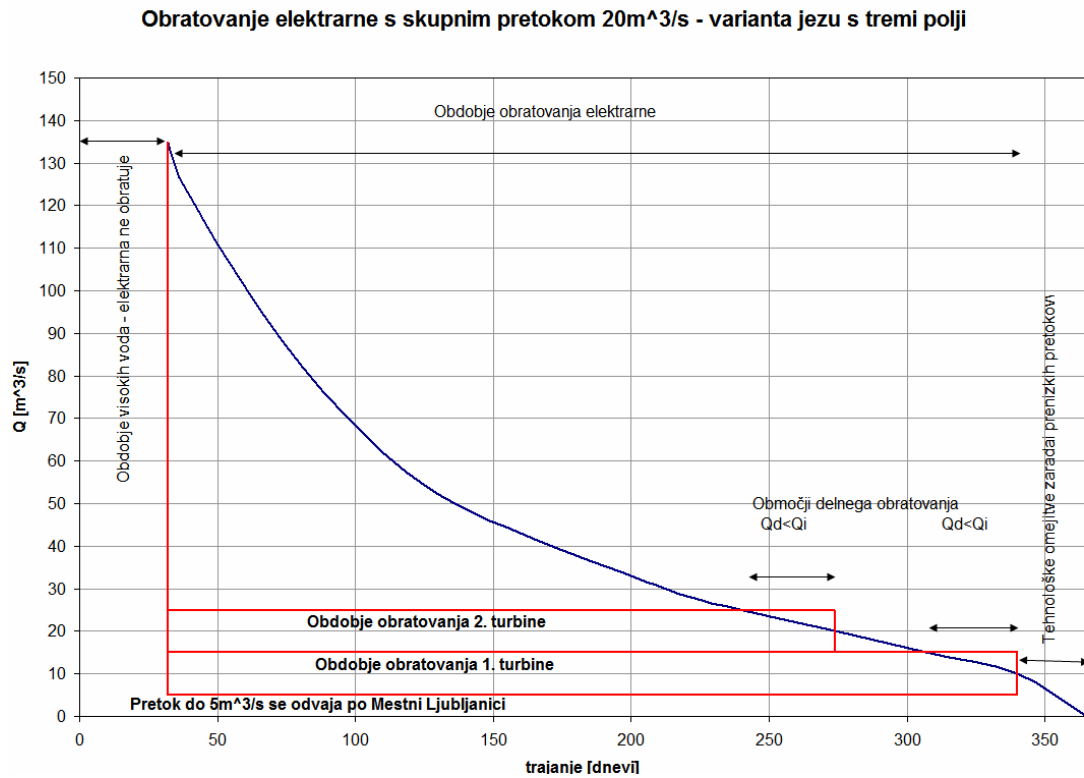
Slika 34: Proizvodnja elektrike – primer zapornice s tremi polji in nameščenim pretokom elektrarne 2 x 5 m³/s

7.3.5.2 Primer večjih turbin

V drugem primeru sem predvidel uporabo dveh turbin s pretočnostjo po 10 m³/s.

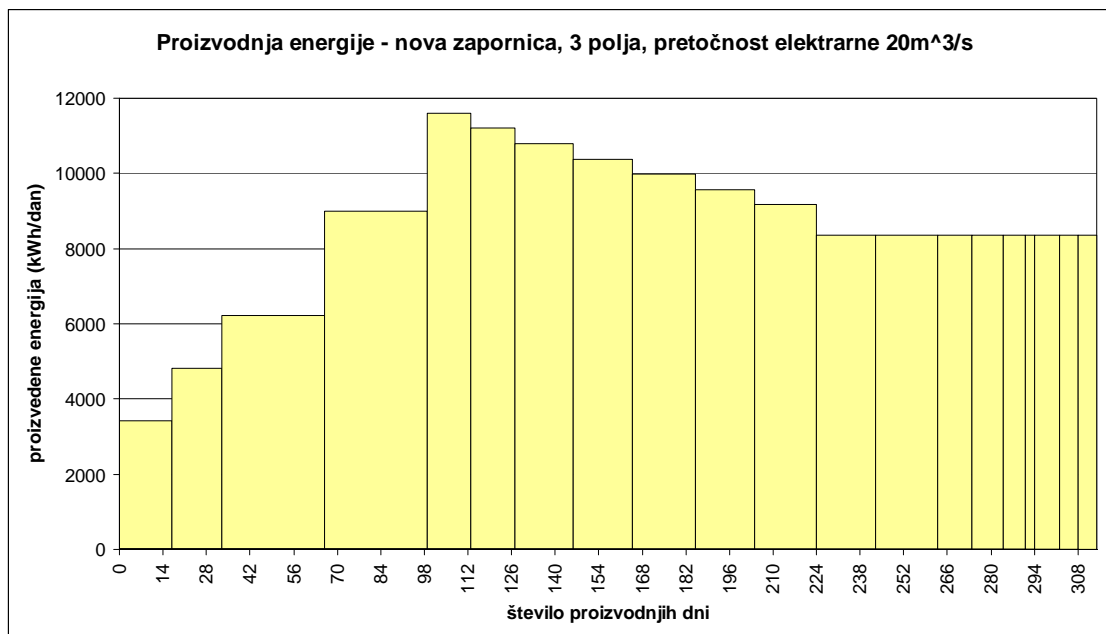
Predpostavke tega primera so enake kot pri manjših turbinah pri treh pretočnih poljih, vključno z otekanjem minimalnega ekološko sprejemljivega pretoka po Mestni Ljubljani, predvidenim največjim pretokom po Mestni Ljubljani in enakomerno porazdelitvijo pretokov med prelivnimi polji jezu na Gruberjevem prekopu v razmerah, ko je to potrebno (Slika 32).

Razlika glede na primer s šibkejšimi turbinami je v pretokih, pri katerih je mogoče obratovanje elektrarne in v času njihovega trajanja. Posledično je drugačna tudi količina pridobljene električne energije. Začetni pretok, pri katerem ena turbina lahko delno obratuje, je tako 10 m³/s (Slika 35). Tako obratuje do 15 m³/s pretoka izmerjenega na Mostah, ko začne prva turbina obratovati s polno močjo. Ko pretok naraste do 20 m³/s, ko začne z delnim obratovanjem tudi druga turbina. Druga turbina obratuje z delno zmogljivostjo do pretoka 25 m³/s, ko prične celotna elektrarna delovati s polno močjo. V primeru s tremi prelivnimi polji lahko elektrarna obratuje do skupnega izmerjenega pretoka kar 135 m³/s (Slika 35). V tem primeru se po Mestni Ljubljani odvede 75 m³/s, po Gruberjevem prekopu pa 3 x 20 m³/s (Slika 32).



Slika 35: Časovna razporeditev obratovanja turbine –varianta jezu s tremi polji in s pretočnostjo elektrarne $20\text{ m}^3/\text{s}$

Pogoji za obratovanje elektrarne z eno turbino so izpolnjeni 314 dni v letu, od teh pa je 242 dni mogoče tudi obratovanje druge turbine (Slika 35). To pomeni, da situacije, ki dovoljujejo obratovanje samo ene turbine nastopajo, 66 dni v povprečnem letu (Slika 35). Večja je tudi količina pridobljene energije, ki v tem primeru znaša več kot 2700 MWh pri moči elektrarne približno 484 kW. Pri izračunu v primeru treh prelivnih polji sem predvidel turbine Hydromatrix z izkoristkom približno 0,865, saj je njihova namestitev na tovrsten objekt mogoča in bolj ekonomsko upravičena – nižja cena, večji izkoristek (PRILOGA E). Graf proizvodnje električne energije za razliko od primera z manjšimi turbinami ni tako konstanten, kar pomeni, da večje turbine bolje izkoristijo energetske potencial (Slika 36).



Slika 36: Proizvodnja elektrike – primer zapornice s tremi polji in nameščenim pretokom elektrarne 2 x 10 m³/s

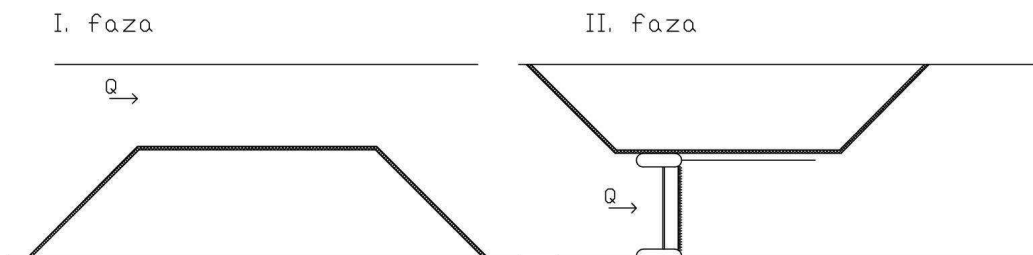
7.3.6 Organizacija gradnje

Pri organizaciji gradnje novega zaporničnega objekta je potrebno upoštevati vse ugotovitve in pogoje, ki so opredeljeni pri organizaciji gradnje oziroma obnove sedanjega objekta (PRILOGA D).

7.3.6.1 Gradbena jama

Pri tej varianti gradnje zapornice je predvidena izvedba zaščite gradbene jame z delnim zapiranjem vodotoka (Slika 37). Pri tem načinu najprej zapremo polovico struge Gruberjevega prekopa in na zaprti polovici zgradimo polovico objekta. Pretok, ki priteče po Gruberjevem prekopu, je usmerjen po iz okvirov zaščite izvzeti polovici struge. Po dograditvi prve polovice zapornice začasno pregrado prestavimo na drugo polovico prekopa. V tej fazi je pretok usmerjen skozi že zgrajeno polovico prekopa (Steinman et al, 2008). Zaščita gradbene jame je nekoliko zahtevnejša, saj je potrebno zagotoviti stabilnost začasne konstrukcije. Pri tej varianti zaščite gradbene jame je problematičen tudi dostop do objekta v fazi gradnje. Glavna dostopna pot bo namreč organizirana samo z ene strani gradbišča, na drugo stran pa bo potrebno priti preko struge. Za ta namen je mogoče v prvi fazi na polovici prekopa, ki ne bo ograjena, narediti nasip s cevnimi prepusti za zagotavljanje pretočnosti. Na ta način je tudi nekoliko lažje stabilizirati začasno konstrukcijo in tako preprečiti vdiranje vode v zaprto območje. Tudi v tem primeru je načrtovano obdobje gradnje v času med junijem in

septembrom, ko so srednji pretoki glede na pretkele meritve najmanjši. Prevodnost Gruberjevega kanala bo v času gradnje zmanjšana na polovico, kar pomeni, da bo potrebno preostalo količino vode preusmeriti na Mestno Ljubljano. Največji srednji mesečni pretok v mesecih, ko je načrtovana gradnja, je namreč $50,8 \text{ m}^3/\text{s}$. Pretočnost Mestne Ljubljane je v okviru visokih voda ocenjena na približno $62 \text{ m}^3/\text{s}$, polovica Gruberjevega pretoka pa približno $30 \text{ m}^3/\text{s}$, kar zagotavlja poplavno varnost višje ležečih predelov do pretoka približno $90 \text{ m}^3/\text{s}$ na vodomerni postaji v Mostah. V primeru višjih pretokov pa je zaradi zagotavljanja poplavne varnosti višje ležečih območij predvideno kontrolirano poplavljanje dela gradbišča. Glede na nadaljnjo odločitev je mogoče izbrati tudi rešitev zaščite gradbene jame predstavljeno v primeru obnove sedanje zapornice. Varianta z nasipom čez celotno širino struge je lažje izvedljiva, gradbišče je lažje dostopno, izvedba projekta je mogoča v eni fazi, pa tudi cenejša je. Ima pa to slabost, da je pretočnost Gruberjevega prekopa v primeru te rešitve omejena zgolj na minimalni ekološko sprejemljivi pretok.



Slika 37: Osuševanje gradbišča z delnim zapiranjem vodotoka

7.3.6.2 Dostopnost objekta

Dostop do predvidenega novega objekta ni zagotovljen in ga je potrebno urediti. Uresničljivih rešitev je več. Za dovoz se lahko uporabi sedanja Kapusova ulica, mogoče je urediti in razširiti pot, ki vodi od Hradetskega ceste do Gruberjevega prekopa (pri približni lokaciji nove zapornice), ali pa se uporabi v sklopu projekta urejeno pot med naseljem na Mesarski ulici in Roško cesto (Slika 38). Slednja varianta bo najboljša, saj jo je v vsakem primeru potrebno urediti, hkrati pa je lokacija po tej poti najbližje glavni cesti, v tem primeru Roški. Poleg objekta bo potrebno že za časa gradnje izdelati ploščad, ki bo v času gradnje služila dostopu avtodvigala, ko pa bo objekt zgrajen, pa bo služila kot servisna ploščad za energetski modul. Slabost ostalih dveh variant je poleg oddaljenosti še morebitno nasprotovanje okoliških prebivalcev (varianta po Kapusovi ulici gre skozi območje stanovanjske poselitve) in potreben odkup zemljišč (varianta s Hradetskega ulice predstavlja ožjo poljsko pot, ki bi jo bilo potrebno razširiti in za ta namen verjetno odkupiti). Kot je opisano že v poglavju o organizaciji gradbene jame bo dostop do gradbišča na oddaljenem delu struge potekal po

predvidenem nasipu, ki bo izveden kot del ukrepov za zaščito gradbene jame, ali pa bo v potekal po omenjenem nasipu čez celotno širino, če se bo odločilo za izvedbo z nasipom. Skladišče za potrebe gradbišča je tudi v tem primeru predvideno na območju med Roško cesto, Gruberjevim prekopom in objektom Roška cesta 2a. Lokacija skladišča je izbrana glede na njeno oddaljenost od ceste, glede na oddaljenost od gradbišča in glede na predvidene stroške vzpostavitve gradbišča (PRILOGA D).



Slika 38: Možnosti dostopa

7.3.7 Analiza vplivov posega na okolje

7.3.7.1 Voda

Predstavljeni poseg je predviden na vodnem telesu Gruberjevega prekopa. Območje se nahaja v območju VVO3 (Širše vodovarstveno območje - Slika 26). Termin za gradnjo objekta je potrebno prilagoditi hidrološkim značilnostim na širšem območju, saj bo prevodnost Gruberjevega prekopa med gradnjo omejena, tako da bi bil v primeru gradnje v obdobju visokih voda lahko pretok po Mestni Ljubljani previsok. Podobno kot v primeru obnove sedanje zapornice je predviden termin za gradnjo v času med junijem in septembrom.

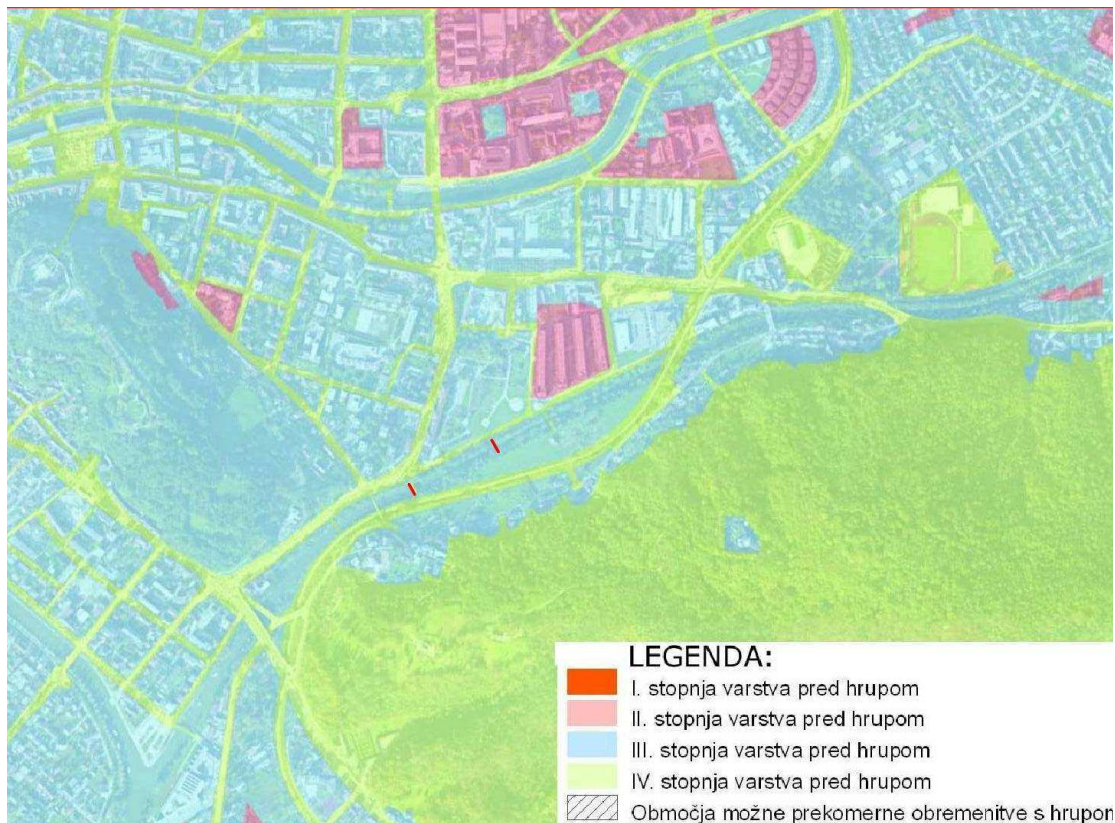
Poseg bo v fazi gradnje kljub ukrepom nedvomno vplival na vodni režim Gruberjevega prekopa, vendar bo po končani gradnji stanje normalizirano. Glede na izbrano izvedbo varovanja gradbišča pred vdorom vode je mogoče določiti podrobnejše vplive na vodno okolje. V primeru izbora enake variante kot pri obnovi zapornice je vpliv na pretočnost Gruberjevega pretoka velik, če pa izberemo varianto z delnim zapiranjem struge prekopa, se vpliv zaščite gradbene jame na pretočnost zmanjša. Četudi izberemo drugo varianto zaščite gradbene jame, ni mogoče zagotoviti zadovoljive poplavne varnosti na višje ležečih krajih, zato je tudi v tem primeru v ekstremnih situacijah predvideno preplavljanje gradbišča, da se zagotovi potrebna poplavna varnost. Preostanek pretoka, ki bi sicer tekkel po Gruberjevem prekopu bo tudi v tem primeru speljan po strugi Mestne Ljubljane. Vpliv na podzemne vode bo med gradnjo zaznaven, odvisno od vrste temeljenja in zaščite gradbene jame. Predviden sistem pilotiranja ima na podzemne vode minimalen vpliv.

Vpliv na površinske in podzemne vode bo v času obratovanja majhen kar pomeni, da se pogoji glede na sedanje stanje ne bodo bistveno poslabšali, edina sprememba glede na sedanje stanje je ta, da bo zajezev Gruberjevega prekopa segala višje, saj je nova zapornica predvidena približno 150 m dolvodno. Gladina pa v tem primeru ne bo višja kot ob povišanih vodostajih, ko je zapornica na Gruberjevem prekopu v celoti odprta.

7.3.7.2 Zrak in hrup

V času izvajanja del bo negativen vpliv na zrak v bližnji okolici zaznaven, a ne bo večji kot na vsakem gradbišču primerljive velikosti. V času gradnje lahko v okolici pričakujemo povečano stopnjo hrupa zaradi gradbišča samega. Objekt med obratovanjem na kakovost zraka v okolici ne bo imel nobenega vpliva. Hrup se bo z izgradnjo novega objekta celo zmanjšal. Predvideni so namreč novejši – tišji sistemi za manipulacijo z zapornico in moderne turbine, ki oddajajo zelo malo hrupa. Predvidena nova lokacija je tudi nekoliko bolj oddaljena od stanovanjskih površin in zato bolj primerna kot stara lokacija. Tudi pri postavitvi nove zapornice je predviden dizelski agregat, ki bi ob hkratnem izpadu elektrike in potrebi po manipulaciji zapornice lahko povzročil dodatno onesnaženje s hrupom. Če se bo izkazalo, da bodo podatki izdelovalcev opreme kazali na to, da bi bile mejne vrednosti dovoljenega hrupa lahko presežene je mogoče elemente, ki bodo te vrednosti presegali, dodatno zvočno zaščititi. Karta hrupa MOL to območje sicer uvršča v III. stopnjo varstva pred hrupom, vendar območje neposredno meji na območje, ki je v razredu IV. stopnje varstva pred hrupom (Urbinfo, 2013 – Slika 35). Meje za jakost hrupa v III. stopnji varstva pred hrupom so različne glede na del dneva. Preko dneva je dovoljenih 58 dBA, v večernih urah 53 dBA in ponoči 48 dBA. Omenjene vrednosti veljajo za hrup v območju omenjenega varstva in ga povzročajo

naprave ali objekti, ki niso večje letališče, helikoptersko vzletišče, objekt za pretovor blaga ali odprto parkirišče (povzeto po UL 105/05).

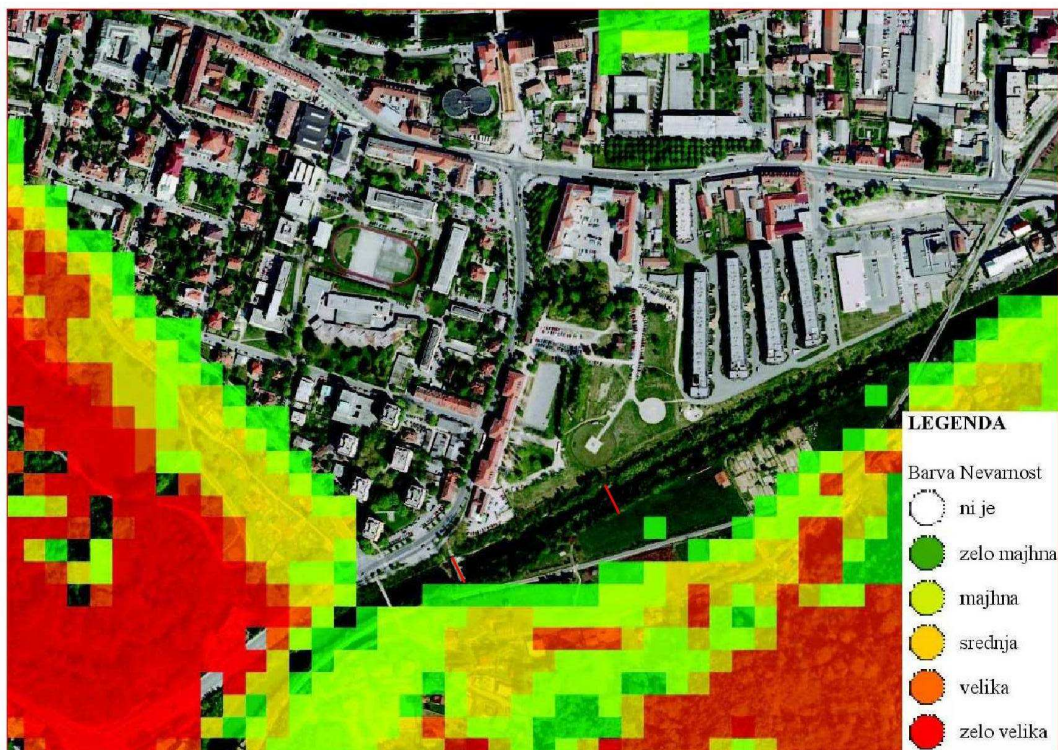


Slika 39: Karta hrupa (Urbinfo, 2013)

7.3.7.3 Tla

Tudi gradnja zapornice z matrično turbino zahteva določene posege v temeljna tla. Tako je potrebno zagotoviti in izvesti primerno obliko temeljenja za dela na objektu (delna poglobitev struge), med samo gradnjo pa bo na tla vplivala tudi zaščita gradbišča. Ko bo objekt zgrajen, bo vpliv na tleh opazen v sami strugi prekopa, saj je za tovrstne posege v telo vodotoka potrebna zaščita podslapja in struge v projektirani dolžini vodotoka. Prav tako je potrebno zaščititi omočeni in neomočeni del struge s predpisanimi materiali, da se prepreči erozijo in s tem zasipanje struge prekopa. V predlagani rešitvi je predvidena tudi sprehajalna pot med Roško cesto in naseljem na Mesarski cesti, ki bo tudi spremenila značilnosti tal na območju. Predlagana pot se uredi sonaravno, da se ta vpliv, kar se da, zmanjša. Predlagana rešitev za izkoriščanje vodnega potenciala je zelo uporabna za primere, ko ne želimo preveč posegati v temeljna tla, saj zahteva bistveno plitkejšo temeljenje kot uveljavljeni sistemi za izkoriščanje vodnega potenciala. Rešitev s posebnim poljem za potrebe izrabe vodnega potenciala je, kar se tiče vplivov na tla, še nekoliko bolj primerna, saj je poglobitev struge predvidena v manjšem obsegu kot v primeru ostalih dveh rešitev. Lokacija predlagane ureditve se sicer

glede na podatke Atlasa okolja (Atlas okolja, 2013) ne uvršča med plazljiva območja (Karta verjetnosti pojavljanja plazov – Slika 40) in tudi ne med plazovita območja. Prav tako tudi ni nevarnosti erozije (Atlas okolja, 2013 - Slika 27). Kljub temu pa je potrebno poudariti, da je potrebna zaščita brežin, saj lahko pri predvidenih posegih pride do plazenja brežine in s tem zasipanja gradbene jame. Plazenje brežin je potrebno preprečiti s predvidenimi ukrepi stabilizacije brežin. Rezultati opravljene geomehanske raziskave so podrobneje opisani pri varianti z obnovo sedanje zapornice.



Slika 40: Verjetnost pojavljanja plazov (Atlas okolja, 2013)

7.3.7.4 Človek

Bivanjski pogoji v okolici nameravane gradnje se bodo med gradnjo nekoliko poslabšali. Zaradi potrebe gradbišča bo v tem času nekoliko povečan in moten promet. Glede na predlagano možnost dostopa do gradbišča bo to najbolj opazno na Roški cesti in njenem križišču s Streliško ulico. Na spremembo bivanjskih pogojev za človeka pomembno vplivajo tudi dejstva, opredeljena v odstavku, ki opisuje vplive na okolje zaradi povišanih emisijskih vrednosti – vpliv na zrak ter vrednosti hrupa v okolici posega. Po končani gradnji se bodo pogoji za življenje v okolici izboljšali, saj bo na novo zgrajen objekt postal lep del grajenega okolja, poti, ki bodo vodile do objekta in okoli njega, pa bodo zagotovo postale priljubljene sprehajalne poti za prebivalce tega dela mesta.

7.3.7.5 Živali

Vpliv na življenjsko okolje habitatnih vrst, ki živijo v vodnem okolju, bo med gradnjo velik, saj bo del struge potrebno izsušiti zaradi izvedbe temeljenja in poglobitve dela struge, podobno kot pri varianti I. Za razliko od variante I pa bo imel poseg vpliv na vrste, ki živijo na bregovih Gruberjevega prekopa v pasu, kjer bo zaradi prestavitve zaporničnega objekta 150 m dolvodno, območje na novo pod nivojem vode. Pred posegom je potrebno preveriti, katero časovno obdobje bi bilo najbolj primerno za poseg glede na navade, obnašanje in potrebe tu živečih živalskih vrst. Po dograditvi objekta bodo pogoji za življenje in razvoj tu živečih živalskih vrst enakovredni pogojem pred posegom v prostor, edina sprememba bo že prej omenjena potopitev dela oboda struge zaradi prestavitve zapornice.

7.3.7.6 Rastlinje

Na rastlinje bo med gradnjo objekta vplivala organizacija gradbišča. Večji posegi so predvideni na obrežju Gruberjevega prekopa, kjer bo potekala pot do naselja na Mesarski ulici. Po dograditvi objekta bo na območju okoli poti in objekta ter tudi na vseh ostalih prizadetih območjih urejena parkovna ureditev. Zasajen bo drevored, brežine bodo urejene tako, da se bo lepo odpiral pogled na vodno telo spodaj. Prizadet bo tudi del, kjer je predvideno višanje gladine Gruberjevega prekopa zaradi prestavitve zapornice. Ta del sicer ni vzdrževan in je zaraščen tako, da ovira prevodnost prekopa ob visokih pretokih.

7.3.7.7 Grajeno okolje

Vpliv na grajeno okolje bo prisoten, saj gre za gradnjo novega tehničnega objekta. Gradnja tehnično tako dovršenega objekta bo zagotovo pritegnila marsikaterega obiskovalca, z izdelavo premostitvenega dela objekta pa bo njegova uporabnost še nadgrajena. Tudi predvidena sprehajalna pot bo predstavljala pozitiven doprinos h grajenemu okolju. Zagotovo bo priljubljena pri marsikateremu meščanu, saj podobne poti, ki bi tekla vzdolž vodnega telesa z ozelenjeno okolico, v neposredni bližini centra mesta ni.

7.3.8 Ocena investicije in njena upravičenost

Tudi ocena investicije v postavitev nove zapornice dolvodno od stare zapornice temelji na podatkih, pridobljenih iz predračuna projekta za pridobitev gradbenega dovoljenja za obnovo zapornice na Gruberjevem prekopu (Kovačič et al, 2000), in na informacijah proizvajalca v povezavi z že izvedenimi projekti z enako tehnologijo. V primeru gradnje zapornice dolvodno sem predvidel varianto z dvema in varianto s tremi prelivnimi polji. Spodnja preglednica

(Preglednica 9) dokazuje, da je investicijska vrednost variante s tremi prelivnimi polji pričakovano višja. Razlogov za razliko v ceni je več. Prvi razlog se tiče zemeljskih del. Pri zemeljskih delih v primeru treh prelivnih polj je njihov obseg nekoliko manjši zaradi ožjega dela struge na katerem je predvidena njena poglobitev, zato je višina te postavke nekoliko nižja. Postavka armiranobetonskih del je v primeru treh prelivnih polj zaradi izvedbe dodatnega stebra nekoliko višja kot enaka postavka v primeru dveh prelivnih polji. Postavka hidromehanske opreme je v primeru treh polji le nekoliko višja, saj je v primerjavi z varianto z dvema poljema zaradi manjše teže zapornic lahko manj nosilna. Po drugi strani pa v primeru treh prelivnih polj potrebujemo dodaten set hidromehanske opreme za dvig elektrarne. Zaradi teh razlogov se ceni hidromehanske opreme na koncu skoraj izenačita (Preglednica 9). Poudariti je potrebno, da je za potrebe primerjave v izračunu investicije pri novi zapornici pod postavko zaščita gradbene jame zaradi bolj realne primerjave vzeta cenejša izvedba gradbene jame – opisana pri izvedbi gradbene jame za obnovo stare zapornice. V primeru izvedbe gradbene jame z delnim zapiranjem vodotoka se izvedba gradbene jame podraži za približno 20 %.

Preglednica 9: Primerjava investicije za nov jez

Obstoječa	prenova	Izgradnja nove - 2 polji			Izgradnja nove - 3 polja		
		pretok	10	20	pretok	10	20
Preddela	150.000	Preddela	133.000	133.000	Preddela	133.000	133.000
Gradbena jama	405.000	Gradbena jama	405.000	405.000	Gradbena jama	405.000	405.000
Zemeljska dela	17.000	Zemeljska dela	33.000	33.000	Zemeljska dela	30.000	30.000
Gradbena dela	270.000	Gradbena dela	553.000	553.000	Gradbena dela	575.000	575.000
Hidromehanska oprema	780.000	Hidromehanska oprema	630.000	630.000	Hidromehanska oprema	650.000	650.000
Ostalo	50.000	Ostalo	50.000	50.000	Ostalo	50.000	50.000
Varovanje struge	47.000	Varovanje struge	47.000	47.000	Varovanje struge	47.000	47.000
		Elektrarna	402.356	751.944	Elektrarna	388.218	725.523
SKUPAJ	1.722.000	SKUPAJ	2.253.356	2.602.944	SKUPAJ	2.278.218	2.615.523
		Dodatna dela za elektrarno	531.356	880.944	Dodatna dela za elektrarno	556.218	893.523

Za izračun upravičenosti investicije sem tudi v tem primeru privzel podatke o pridobljeni električni energiji za obe moči elektrarne in v tem primeru tudi za oba primera postavitev elektrarne. V nadaljevanju je podan izračun samo za primer dveh in treh prelivnih polj. Izračunal sem odkupno ceno za pridobljeno električno energijo in odštel stroške obratovanja. V okviru stroškov obratovanja je vključeno redno vzdrževanje strojnice po navodilih proizvajalca in stroški nadzornika elektrarne. Za odkupno ceno električne energije sem privzel podatke odkupnih cen električne energije v letu 2014 za hidroelektrarne manjše od 1 MW nameščene moči, ki znaša 92,61 €/MWh (Borzen, 2014). Doba vračanja investicije je izračunana za oba obravnavana predloga uporabe turbin – s pretočnostjo elektrarne 10 m³/s

pri manjših turbinah, oziroma 20 m³/s pri večjih turbinah, ter za obe varianti postavitve elektrarne – tu je prišlo do manjših razlik zaradi nekoliko različne vrednosti investicije. Razlika v ceni med elektrarno z manjšima turbinama in elektrarno z večjima turbinama je v obeh primerih postavitve elektrarne približno 350.000 € (Preglednica 10).

Preglednica 10: Povrnitev investicije za nov zapornični objekt v obeh variantah

	Enota	Nova zapornica s tremi polji:		Nova zapornica z dvema poljema:	
Pretočnost elektrarne	(m ³ /s)	10	20	10	20
Moč elektrarne	(kW)	259	484	244	456
Pridobljena energija	(kWh)	1.546.888	2.732.584	1.507.361	2.527.027
Dohodek od prodaje	(€/leto)	143.257	253.065	139.597	234.028
Strošek obratovanja	(€/leto)	15.000	15.000	15.000	15.000
Dobiček od prodaje	(€/leto)	128.257	238.065	124.597	219.028
Cena elektrarne	(€)	388.218	725.523	402.356	751.944
Dodatek investicije v zapornico	(€)	168.000	168.000	129.000	129.000
Celotna investicija	(€)	2.278.218	2.615.523	2.253.356	2.602.944
Povrnitev celotne investicije	(leto)	17,76	10,99	18,09	11,88

8 IZBIRA NAJUSTREZNEJŠE VARIANTE

Izbor najustreznejše variante temelji na proučenih vplivih posameznih variant na okolje in na rentabilnosti investicije. Vplivi na okolje so negativni pri vseh obravnavanih variantah, vendar so ti najmanjši pri varianti premaknjene zapornice s posebnim poljem za elektrarno. Pri tej varianti je oddaljenost objekta od površin, namenjenih bivanju, večja kot v primeru obnove zapornice na sedanji lokaciji. S premaknitvijo zapornice se prestavi morebitni izvor prekomernega hrupa izven dosega stanovanjskih površin. Pozitiven vpliv na človekov življenjski prostor bo imela tudi predvidena ureditev nabrežja Gruberjevega prekopa in premostitveni objekt, ki je predviden v sklopu novega zaporničnega objekta. Predlagana rešitev ima izmed vseh obravnavanih tudi najmanjši vpliv na tla, saj so zahteve za temeljenje in zemeljska dela najmanjše od vseh predlaganih. To je posledica ožjega prelivnega polja, namenjenega izrabi vodnega potenciala, v katerem je potrebna poglobitev.

Poleg okoljskih parametrov pa v prid predlagani rešitvi govori tudi izračun smotrnosti investicije in izračun pridobljene energije. Glede smiselnosti investicije in proizvodnje energije se je kot najustreznejša rešitev pokazala varianta nove zapornice s tremi prelivnimi polji in pretokom enega turbinskega modula z $10 \text{ m}^3/\text{s}$, torej s skupnim pretokom elektrarne $20 \text{ m}^3/\text{s}$. Pri tej varianti se investicija v zapornični objekt z energetskega izkoriščanja povrne v slabih 11 letih. Razlika do druge najprimernejše rešitve (variante z novim jezo z dvema prelivnima poljema) je sicer majhna – manj kot 1 leto, vendar se razlika z leti povečuje, saj je dobiček od pridobljene električne energije na letni ravni pri varianti s tremi prelivnimi polji višji za skoraj 10 %. Tudi količina proizvedene energije se med tema dvema variantama bistveno razlikuje. Najustreznejša varianta tako pridobi skoraj 10 odstotkov več energije. Razlika v v količini proizvedene energije se pojavi zaradi namestitve turbine z večjim izkoristkom ter zaradi nekoliko večjih pretokov, ki jih je mogoče prevajati po strugi Gruberjevega prekopa v primeru jezovne zgradbe s tremi prelivnimi polji.

Seveda pa ima predlagana varianta tudi nekaj negativnih strani. Prva je že samo dejstvo, da gre za gradnjo novega objekta, kar pomeni, da je potrebno za ta poseg pridobiti dodatna soglasja in izdelati projektno dokumentacijo v večjem obsegu kot pri obnovi objekta. Druga, ki bi jo izpostavil, pa je potreba po prilagoditvi pravilnika o obratovanju zapornice. Zaradi sprememb pretokov in njihovih razmerij med Mestno Ljubljano in Gruberjevim prekopom bo potrebno spremeniti nekaj določil omenjenega pravilnika predvsem v delih, ki opredeljujejo dviganje zapornic pri posameznih pretokih in sam postopek dviganja zapornic. Prilagoditve pravilnika so potrebna pri vseh predstavljenih in obravnavanih variantah. Osnovni cilji obratovanja zapornic pa ostanejo nespremenjeni.

9 SKLEP

Glede na rezultate analize vplivov vseh predlaganih variant na parametre okolja in ostalih značilnosti posameznih rešitev bi bila najboljša varianta s posebnim poljem za hidroenergetski objekt na novi lokaciji.

Na novi lokaciji je odmaknjenost objekta od površin, namenjenih bivanju, večja kot pri sedanjem zaporničnem objektu. Večja odmaknjenost od stavb, v katerih prebivajo ljudje, znižuje raven hrupa v teh stavbah, ki je posledica obratovanja zaporničnih in hidroenergetskih objektov.

Predlagana varianta ima od vseh predstavljenih variant najmanjše predvidene posege v tla, saj je poglobitev struge potrebna le na ozkem delu, kjer je predvidena postavitve polja z energetskega objektom. Pozitivna posledica predlagane rešitve je tudi ureditev širšega območja dela Gruberjevega prekopa. Predvidena je namreč sprehajalna pot, ki bo vodila od naselja na Mesarski ulici do Roške ceste. Poleg poti je predviden premostitveni objekt v sklopu nove zapornice, ki bo omogočal lažjo dostopnost Golovca prebivalcem tega dela mesta. Vsekakor bo predlagana ureditev pritegnila marsikaterega rekreativca in sprehajalca.

Dodatni argument za gradnjo novega objekta je stanje stare zapornice. Po nekaterih zbranih podatkih naj bi bilo stanje stare zapornice že tako slabo, da so možnosti za njeno sanacijo vprašljive.

Predlagana rešitev poleg optimalne izrabe energetskega potenciala Gruberjevega prekopa omogoča tudi najlažjo manipulacijo in vzdrževanje opreme hidroelektrarne, saj je za potrebe vzdrževanja potrebno odstraniti le del, kjer je nameščen modul, in ne celotne zapornice, kot je to v ostalih dveh primerih. Tudi sama pretočnost Gruberjevega prekopa je v primeru remonta energetske opreme pri tej rešitvi najmanj ovirana, saj ostali dve polji pretoke v tem času prevajata nemoteno.

Poleg navedenih pozitivnih strani pa ima izbrana rešitev tudi nekaj negativnih. Zaradi svoje lokacije, ki je približno 150 m dolvodno od sedanje zapornice, bo potopljenost Gruberjevega prekopa v tej dolžini nekoliko večja. Večja potopljenost prekopa vpliva na obod prekopa, rastlinje, ki raste tam in, na tam živeče organizme. Spremenilo se bo tudi vodno okolje na omenjenem odseku. Ker gre pri izbrani rešitvi za novogradnjo, bo v primerjavi z obnovo sedanjega objekta potrebno urediti tudi več projektne dokumentacije in pripadajočih dokumentov.

Gradnja novega objekta sicer res predstavlja večji poseg v prostor kot obnova starega, vendar gre v konkretnem primeru območja Gruberjevega prekopa za področje, ki je nekoliko pozabljeno s strani urejevalcev prostora in zaradi tega precej neurejeno in zanemarjeno. Predlagana rešitev bi stanje vsaj na obrežju prekopa, ki je bolj dostopno s centra mesta, bistveno izboljšala. Okrepila bi se tudi vez med mestom in njegovimi vodnimi telesi, ki je v tujini bistveno bolj cenjena kot pri nas.

V prid izbrani varianti nenazadnje govorijo tudi izračuni o količini pridobljene energije in ocene investicije. Po manj kot 11 letih bi se celotna investicija v objekt povrnila. Po tem obdobju pa bi zgrajena elektrarna še vedno pridobivala električno energijo in z dobičkom prodajala električno energijo. Z izvedbo zaporničnega objekta, ki omogoča izrabo vodnega potenciala za pridobivanje električne energije, bi tako investicijo v javno infrastrukturo vsekakor naredili zanimivo za morebitne investitorje iz gospodarstva, ki bi jih tovrstne investicije v energetiko zagotovo zanimale. Tako bi si država kot lastnica sedanje zastarele zapornične zgradbe lahko zagotovila sredstva za prepotrebno gradnjo novega, modernega objekta, ki ga je za razliko od sedanjega zaporničnega objekta mogoče brez problemov upravljati in nadzorovati njegovo delovanje in za kakršnega je bilo izdelanih že veliko načrtov, do izvedbe pa nikdar ni prišlo.

VIRI

Agroskin, I. I., Dmitrijev, G. T., Pikalov, F.I. 1973. Hidraulika, Zagreb. Tehnička knjiga: 331 str.

Atlas okolja. 2013.

http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso

(Pridobljeno 3. 12. 2013)

Bihlmayer, A. 2013. Tehnične rešitve s tehnologijo Matrix podjetja Andritz. Osebna komunikacija. (13. 2. 2013)

Borzen. 2014. Odkupna cena električne energije.

http://www.borzen.si/si/cp/Shared%20Documents/Podpore_slo.pdf

(Pridobljeno 11. 1. 2014)

Eionet. 2013.

http://nfp-si.eionet.europa.eu/Podatki_in_informacije/F1084793652

(Pridobljeno 3. 12. 2013)

Globokar, T., Sušec – Šuker, V. 1994. Študija možnih posledic kratkoročnih ukrepov pri sanaciji zapornic na Ambroževem trgu in Gruberjevem kanalu za izboljšanje vodnega režima Ljubljane. Ljubljana. Vodnogospodarsko podjetje VGP Hidrotehnik: loč. pag.

Haller, V. 1969. Program vzdrževalnih del na Gruberjevem prekopu, Splošna vodna skupnost Ljubljana – Sava. Ljubljana: loč. pag.

Humar, N. 2011. Pravilnik za obratovanje in vzdrževanje zapornic na Mestni Ljubljani (Ambrožev trg) in Gruberjevem kanalu (Roška cesta). Ljubljana. Ministrstvo za okolje in prostor, ARSO, Urad za upravljanje z vodami, Vzdrževalec in izdelovalec pravilnika: Hidrotehnik, vodnogospodarsko podjetje, d. d.: 20 str.

Jurančič, I., Lenard, J., Štor, S., 2000. Ureditev prostora Ljubljane in Gruberjevega prekopa, Mestna občina Ljubljana, Mestna uprava, oddelek za urbanizem in okolje, povzetek študije Plovna pot Ljubljana – Gruberjeve prekop – Ljubljana, ocena možnosti realizacije. Ljubljana. Vodnogospodarski inštitut, družba za gospodarjenje z vodami, d. o. o.: loč. pag.

Južnič, S. 2004. Jezuitski general Gruber: Vegov profesor. Revija obramba. 10: 58 – 62.

Južnič, S. 2005. Gruberjev prekop. Življenje in tehnika: revija za poljudno tehniko, znanost in amaterstvo. 10: 49 - 56.

Kokolj, Ž. 2013. Podatki o nekdanji Mali hidroelektrarni na jezu na Gruberjevem prekopu. Podjetje Hidroenergija, d. o. o. Osebna komunikacija. (15. 3. 2013)

Kolbezen, M., Pristov, J. 1998. Površinski vodotoki in vodna bilanca Slovenije, Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor: Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije.
http://www.arso.gov.si/vode/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/vodotoki_bilanca.html
(Pridobljeno 8. 11. 2013)

Kovačič, I., Pirc, V., 2000. Obnova zapornic na Gruberjev prekopu. Ljubljana. Vodnogospodarski inštitut, družba za gospodarjenje z vodami, d. o. o.: loč. pag.

Kryžanowski, A., 2013. Študijsko gradivo za predmet Vodne moči. Osebna komunikacija. (6. 1. 2014)

Ljubič, J., 2004 Gruberjev prekop - Sanacija leve zapornične table, Projekt izvedenih del, Načrt hidromehanske opreme, projektna dokumentacija. Ljubljana. Montavar projekt LJ, d. o. o.: loč. pag.

Ljubljana povezuje. 2013.
http://ksh.fgg.uni-lj.si/ljubljanaconnects/SLO/03_about/default.htm
(Pridobljeno 22. 12. 2013)

Natura 2000. 2013.
http://www.mko.gov.si/fileadmin/mko.gov.si/pageuploads/zakonodaja/ohranjanje_narave/posebna_varstvena_obmocja_natura2000_priloga2_precisceno.pdf
(Pridobljeno 13. 12. 2013)

Oddaja o Gruberjev prekopu in Ljubljani. 2013.
<http://tvslo.si/predvajaj/gruberjev-prekop-dokumentarna-oddaja/ava2.150395087/>,
(Pridobljeno 7. 2. 2013)

Povratne dobe velikih in malih pretokov za merilna mesta državnega hidrološkega monitoringa površinskih voda. ARSO. 2013.

www.arso.gov.si/vode/podatki/Povratne%20dobe%20Qvk,Qnp.pdf

(Pridobljeno 3. 12. 2013)

Steinman., F., Banovec, P. 2008. Hidrotehnika, Vodne zgradbe I. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za mehaniko tekočin z laboratorijem: 147 str.

Steinman, F. 1999. Hidravlika. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 295 str.

Tehnične rešitve s tehnologijo Matrix podjetja Andritz. 2013.

<http://atl.g.andritz.com/c/com2011/00/01/24/12429/1/1/2/345644646/hy-hydromatrix-en.pdf>,

(Pridobljeno 7. 2. 2013)

Tehnične rešitve s tehnologijo Matrix podjetja Andritz. 2013.

<http://atl.g.andritz.com/c/com2011/00/01/68/16891/1/1/0/-929756657/hy-hydromatrix-product-presentation-en.pdf>,

(Pridobljeno 7. 2. 2013)

Tehnične rešitve s tehnologijo Matrix podjetja Andritz. 2013.

http://www.esha.be/fileadmin/esha_files/documents/EVENTS/2011-04-13_SHP_Going_Smart/04_Weissenberger.pdf,

(Pridobljeno 7. 2. 2013)

Uhliř, H., 1956. Historiat osuševalnih del na Ljubljanskem barju Knjiga 1, Ljubljana, Uprava za vodno gospodarstvo Ljudske Republike Slovenije, Publikacija 1. Ljubljana: 113 str.

Urbinfo. 2013.

<https://srv3dgis.ljubljana.si/Urbinfo/web/profile.aspx?id=Urbinfo@Ljubljana>

(Pridobljeno 3. 12. 2013)

Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju. Uradni list RS 105/2005: št. 4558.

Uredba o spremembah in dopolnitvah Uredbe o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnika Ljubljanskega polja. Uradni list RS 1/2012: št. 52.

Vidmar, A. 2013. Vzdolžni profil Ljubljanice in Gruberjevega prekopa. Vojaška karta iz leta 1787. Osebni arhiv.

(Pridobljeno 17. 4. 2013)

ZAL. 2012. SI ZAL LJU 493 Sp. fascikel, Mesto Ljubljana gradbena registratura, Načrt 12, Izglabljanje Gruberjevega prekopa, Zgodovina regulacije Ljubljanice, Zgodovinski arhiv Ljubljane

(Pridobljeno 22. 11. 2012)

Žargi, M. 2009. Ljubljana: kulturna dediščina reke, Ljubljana, Narodni muzej Slovenije, Ljubljana: 163 – 167 str.

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: Vzdolžni profil Grubarjevega prekopa M 1:5000/50

PRILOGA B: Značilni prečni prerezi zapornice

Načrt B1: Prečna prereza obnovljene zapornice – Varianta I

Načrt B2: Prečna prereza premaknjene zapornice – Varianta IIa

Načrt B3: Prečna prereza premaknjene zapornice – Varianta IIb

PRILOGA C: Situacijski načrti zapornice

Načrt C1: Situacija Varianta I

Načrt C2: Situacija Varianta IIa

Načrt C3: Situacija Varianta IIb

PRILOGA D: Načrt organizacije gradbišča

PRILOGA E: Pridobljena energija

Preglednica E1: Izračun pridobljene energije – obstoječa zapornica

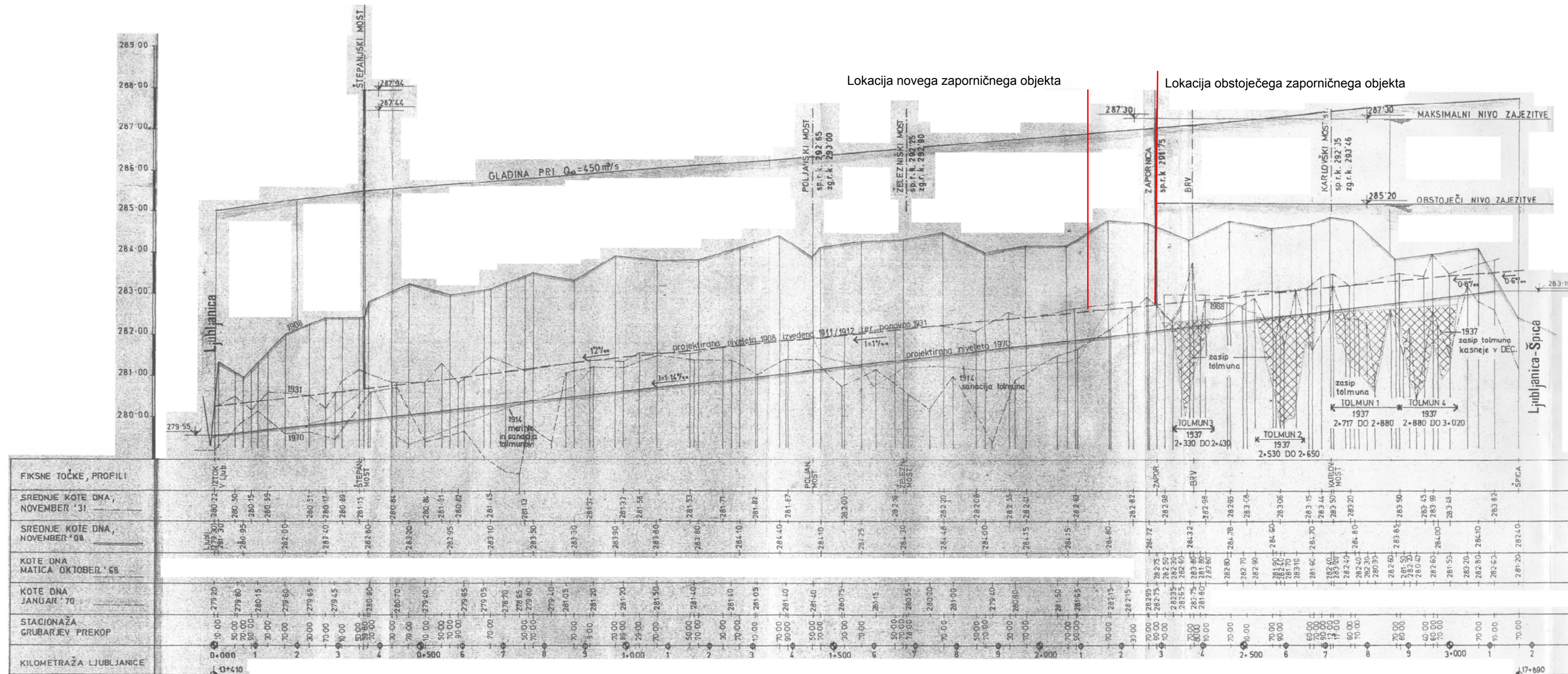
Preglednica E2: Izračun pridobljene energije – nova zapornica 2 polji

Preglednica E3: Izračun pridobljene energije – nova zapornica 3 polja

Graf E1: Proizvodnja energije – nova zapornica, 2 polji, pretočnost 10 m³/s

Graf E2: Proizvodnja energije – nova zapornica, 2 polji, pretočnost 20 m³/s

PRILOGA A: Vzdolžni profil Grubarjevega prekopa M 1:5000/50



VZDOLŽNI PROFIL GRUBERJEVEGA PRĚKOPA

M 1:5000 / 50

LEGENDA:

----- PROJ. 1908 IN IZVEDENO 1911 - 1912
TER PONOVNO PROJ. IN IZV. '31
* 1931 NOVEMBER MERITVE (srednja povpr. višina)

----- 1968 OKTOBER

----- 1970 JANUAR

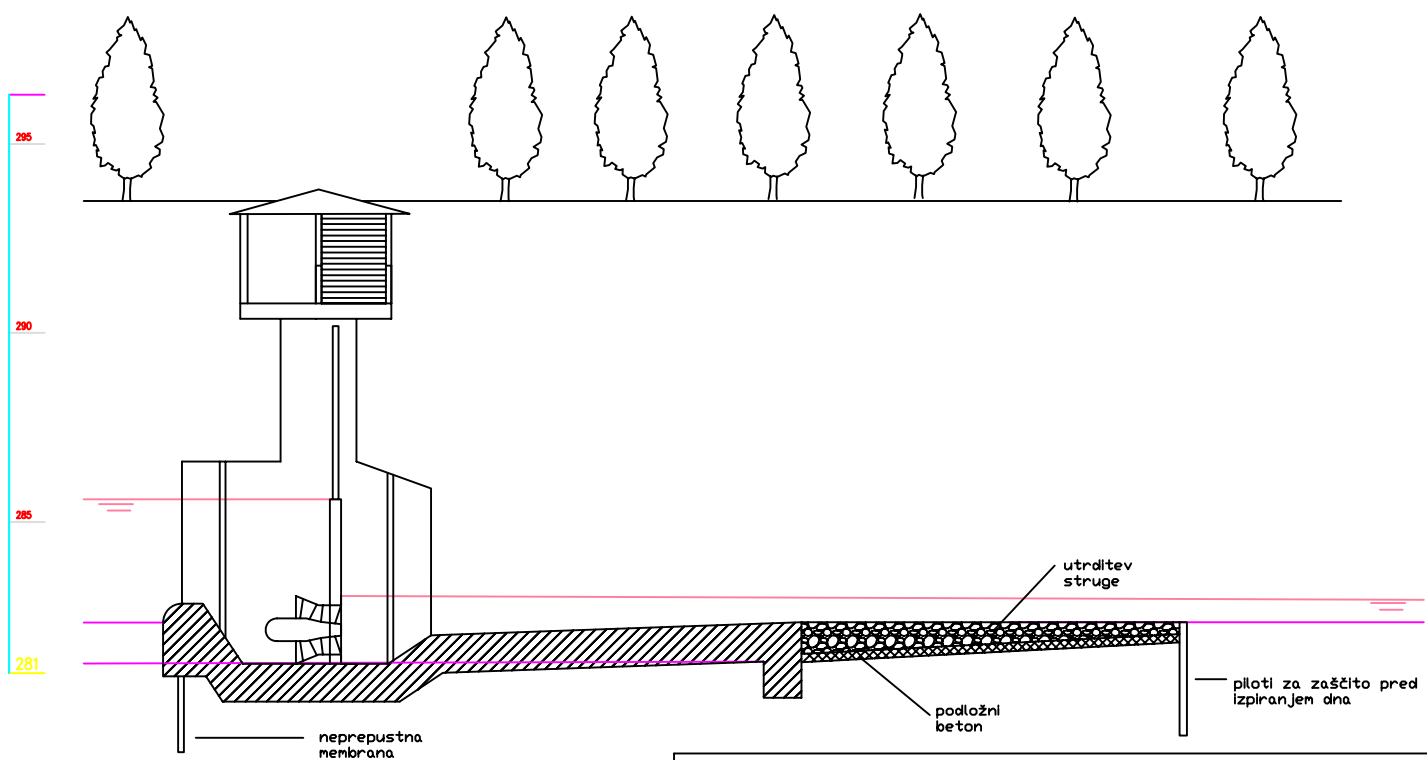
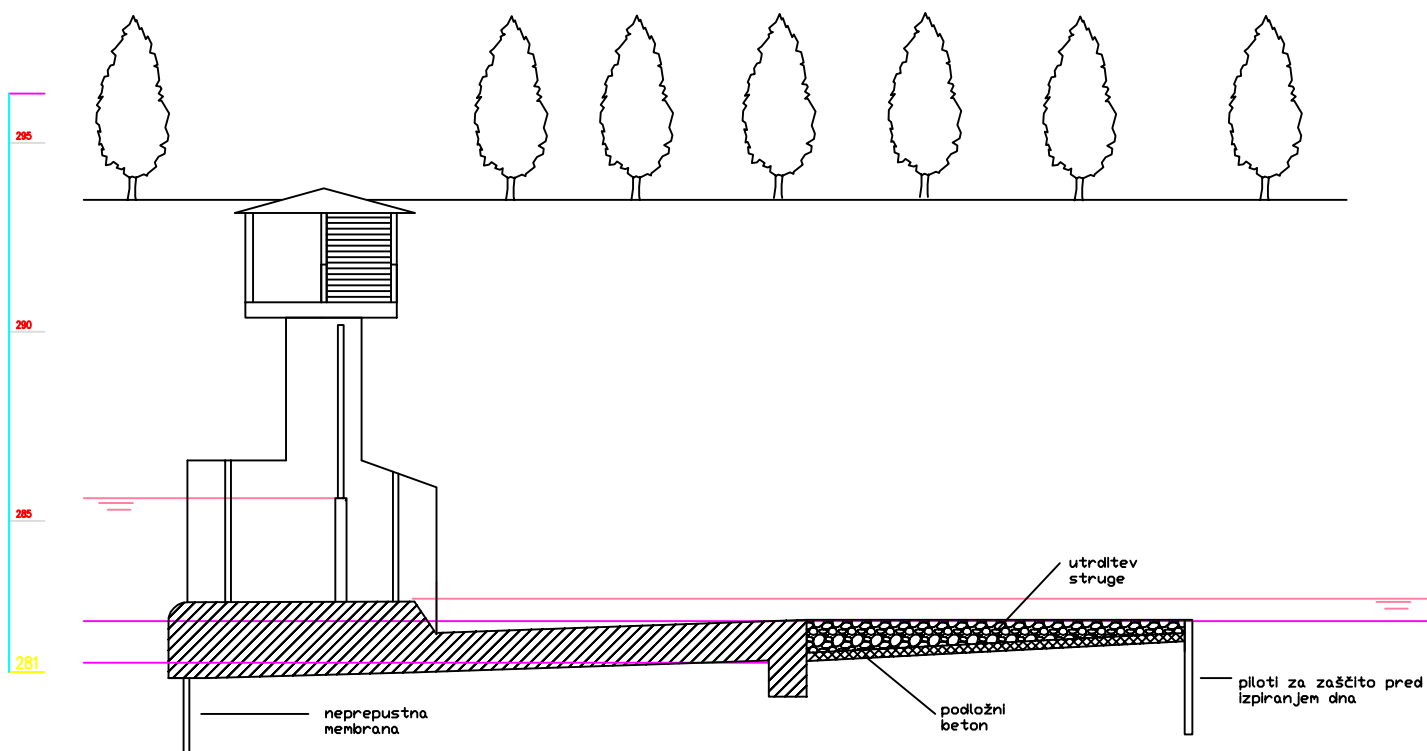
----- PROJEKTIRANA NIVELETA 1970

PRILOGA B: Značilni prečni prerezi zapornice

Načrt B1: Prečna prereza obnovljene zapornice – Varianta I

Načrt B2: Prečna prereza premaknjene zapornice – Varianta IIa

Načrt B3: Prečna prereza premaknjene zapornice – Varianta IIb



UNIVERZA V LJUBLJANI
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Naloga : Umestitev matrične elektrarne na Gruberjev kanal

Načrt : Prečna prereza obnovljene zapornice - VARIANTA I

Faza : Idejna zasnova

Izdelal : Simon Vilhar

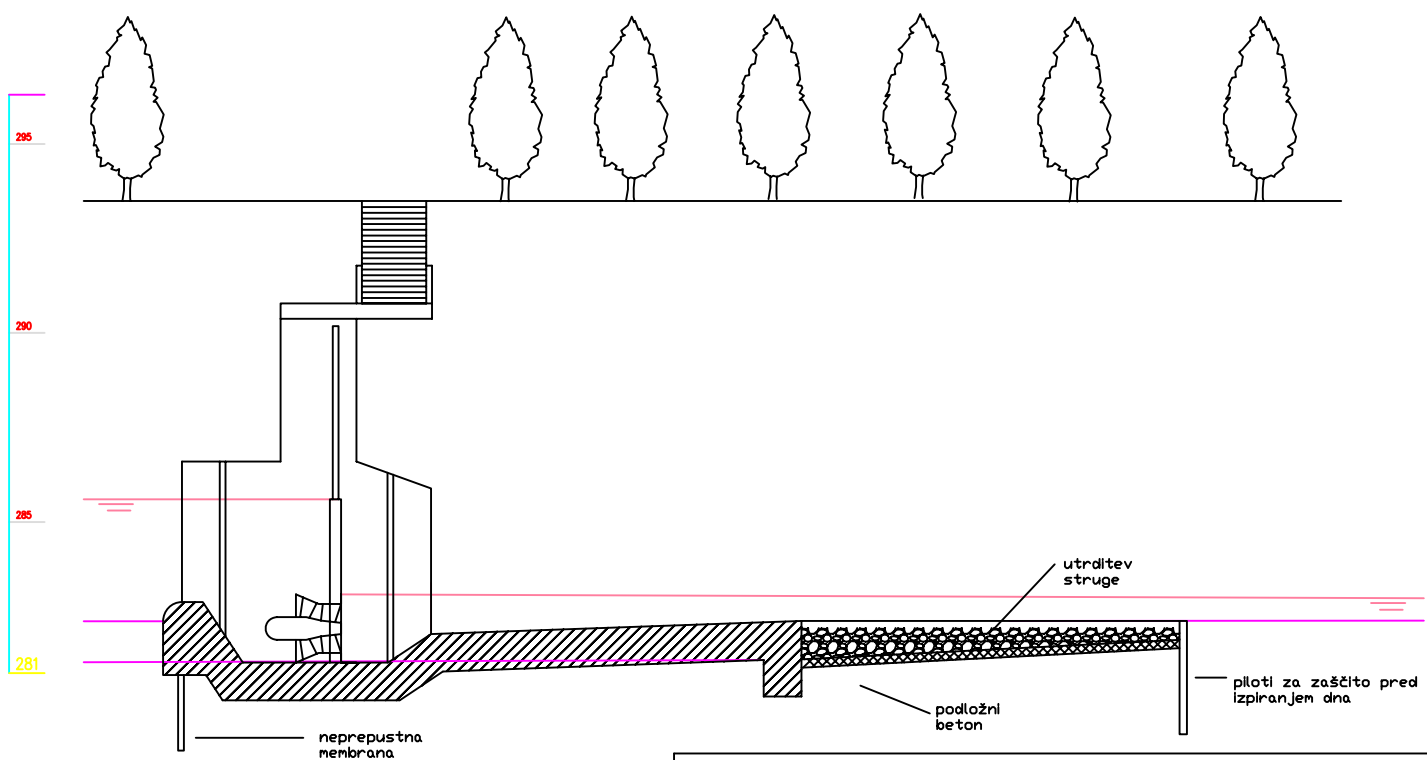
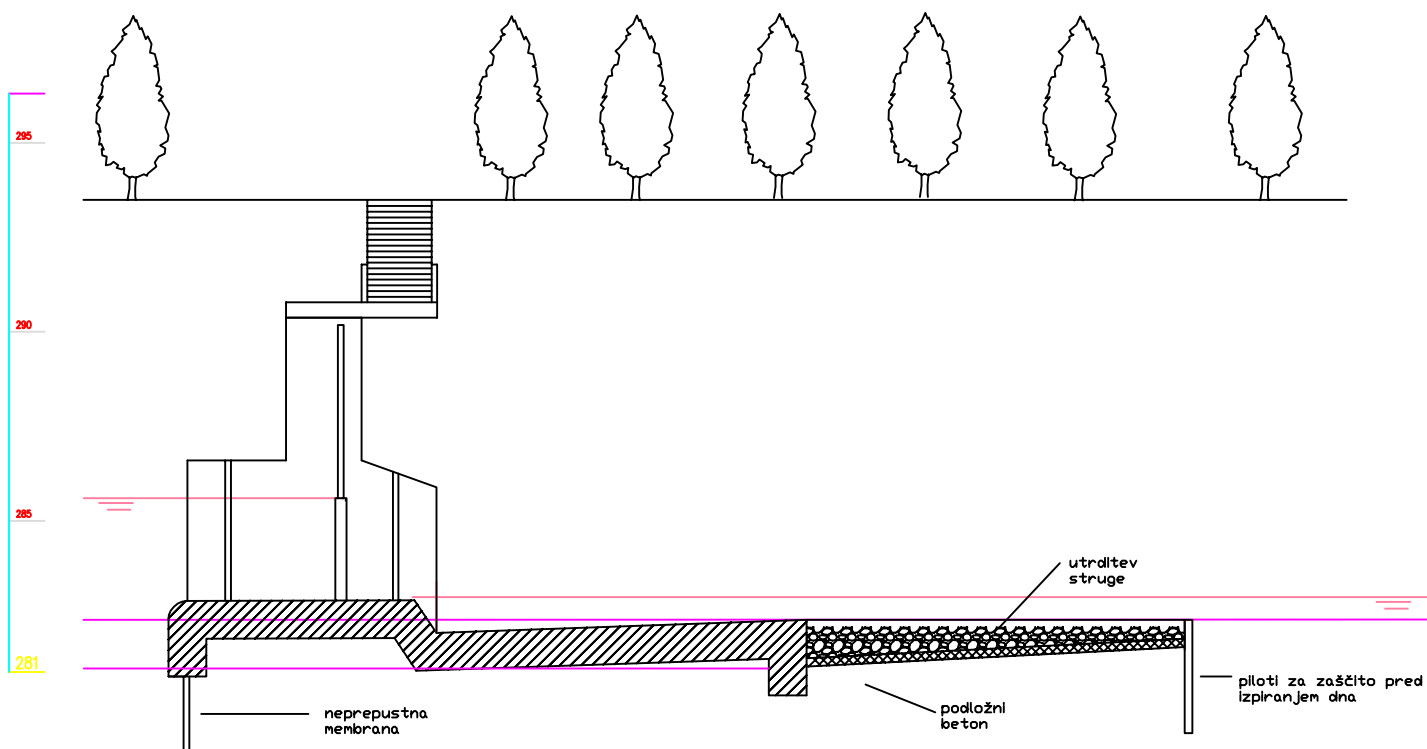
Mentor : doc.dr. Andrej Kryžanowski

Somentor: doc.dr. Simon Schnabl

Datum :
7.2.2014

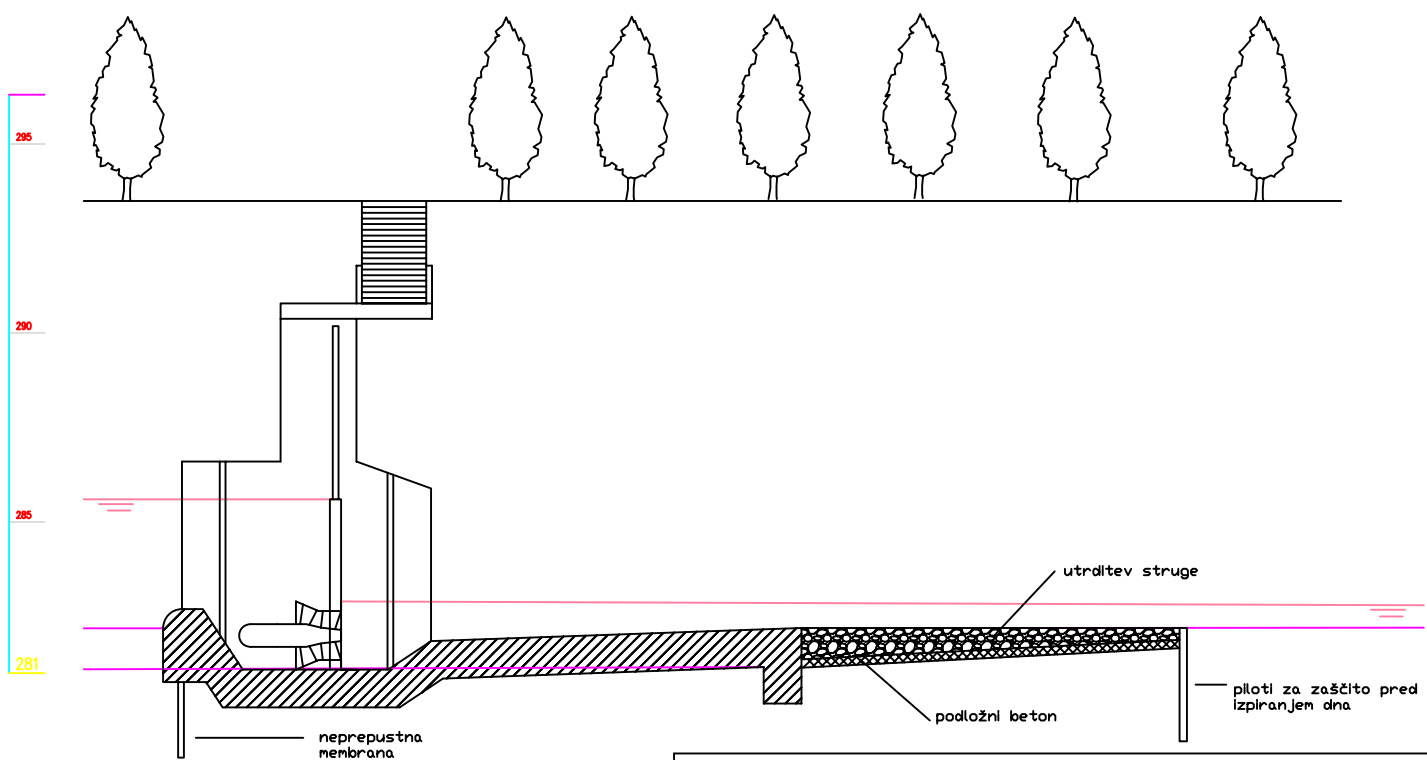
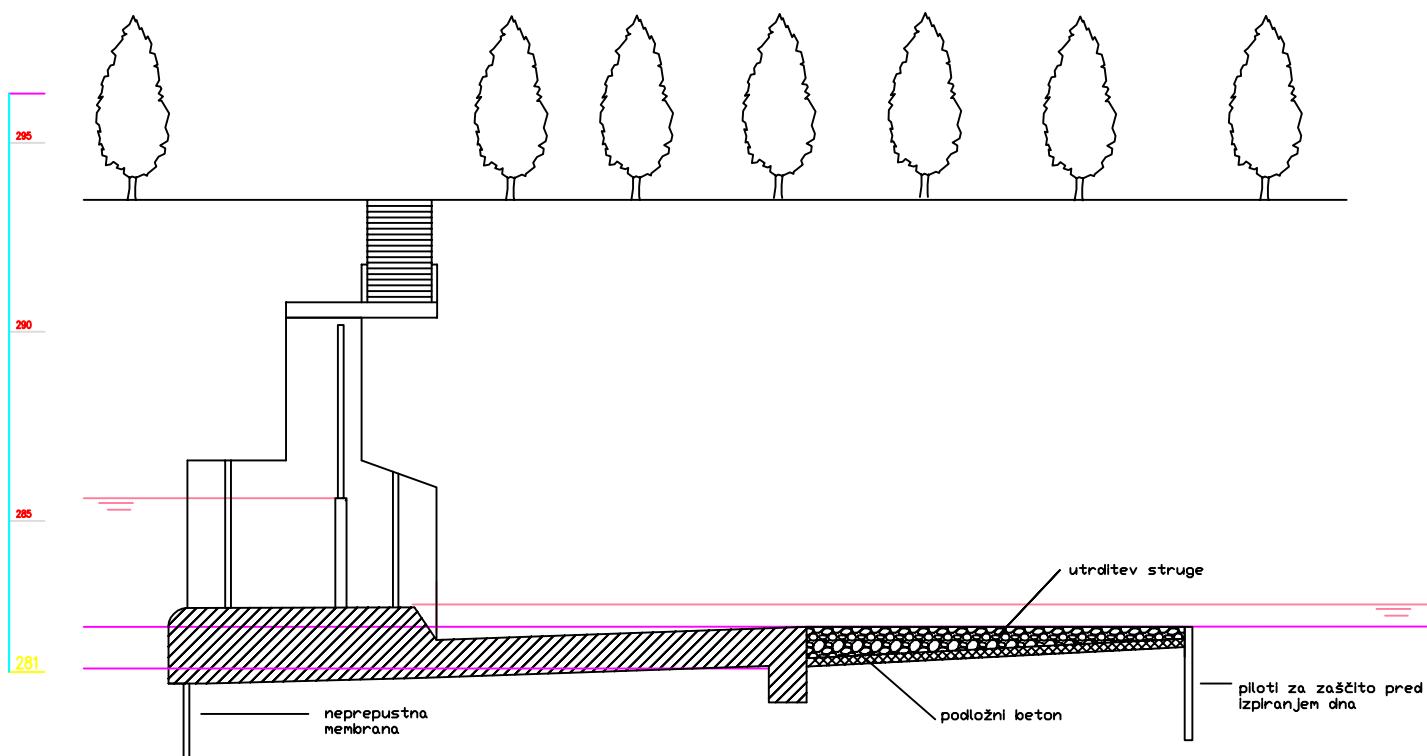
Merilo :
1 : 200

Priloga :
B1



UNIVERZA V LJUBLJANI
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Naloga :	Umestitev matrične elektrarne na Gruberjev kanalu	
Načrt :	Prečna prereza premaknjene zapornice - VARIANTA IIa	
Faza :	Idejna zasnova	
Izdelal :	Simon Vilhar	
Mentor :	doc.dr. Andrej Kryžanowski	
Somentor:	doc.dr. Simon Schnabl	
Datum :	Merilo :	Priloga :
7.2.2014	1 : 200	B2



UNIVERZA V LJUBLJANI
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Naloga :	Umestitev matrične elektrarne na Gruberjev kanalu	
Načrt :	Prečna prereza premaknjene zapornice - VARIANTA IIb	
Faza :	Idejna zasnova	
Izdelal :	Simon Vilhar	
Mentor :	doc.dr. Andrej Kryžanowski	
Somentor:	doc.dr. Simon Schnabl	
Datum :	Merilo :	Priloga :
7.2.2014	1 : 200	B3

PRILOGA C: Situacijski načrti zapornice

Načrt C1: Situacija Varianta I

Načrt C2: Situacija Varianta IIa

Načrt C3: Situacija Varianta IIb

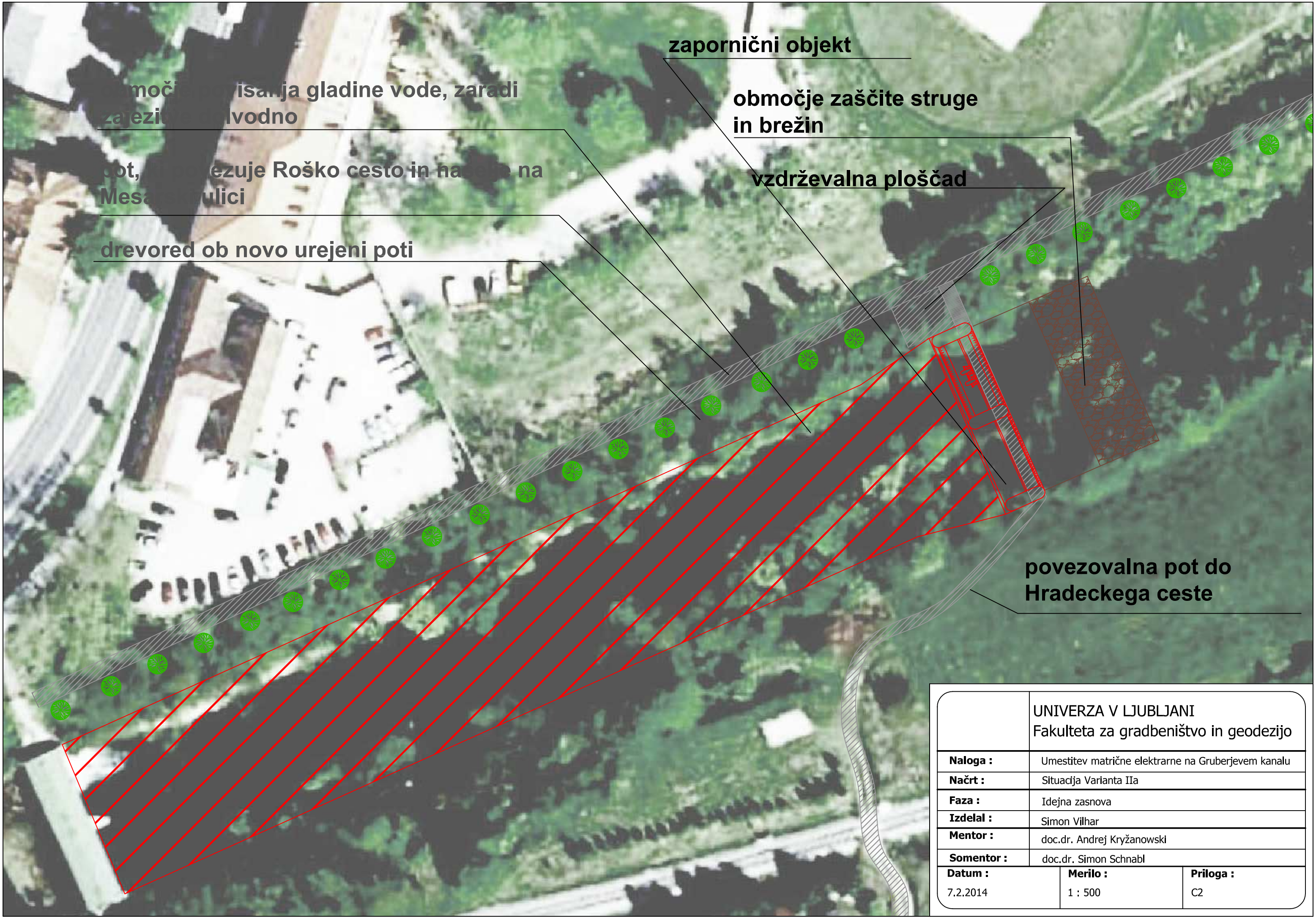


vzdrževalna ploščad

območje zaščite struge
in brežin

zapornični objekt

UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo		
Naloga :	Umestitev matrične elektrarne na Gruberjevem kanalu	
Načrt :	Situacija Varianta I	
Faza :	Idejna zasnova	
Izdelal :	Simon Vilhar	
Mentor :	doc.dr. Andrej Kryžanowski	
Somentor :	doc.dr. Simon Schnabl	
Datum :	Merilo :	Priloga :
7.2.2014	1 : 500	C1



moč izločanja gladine vode, zaradi zajezi

pot, ki pretezuje Roško cesto in napreduje na Mesarski ulici

drevored ob novo urejeni poti

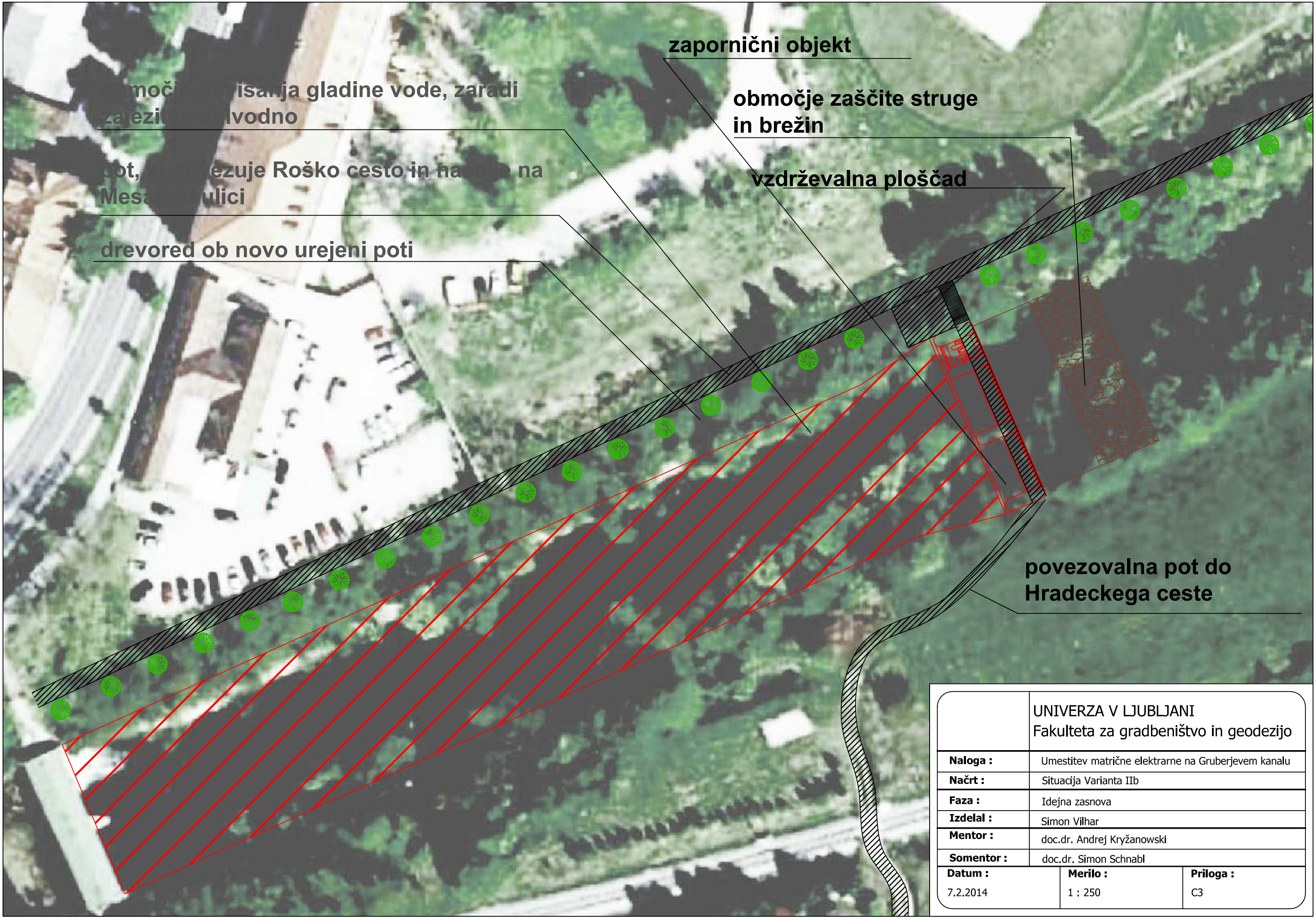
zapornični objekt

območje zaščite struge in brežin

vzdrževalna ploščad

povezovalna pot do Hrdeckega ceste

UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo		
Naloga :	Umestitev matrične elektrarne na Gruberjevem kanalu	
Načrt :	Situacija Varianta IIa	
Faza :	Idejna zasnova	
Izdelal :	Simon Vilhar	
Mentor :	doc.dr. Andrej Kryžanowski	
Somentor :	doc.dr. Simon Schnabl	
Datum :	Merilo :	Priloga :
7.2.2014	1 : 500	C2



območje dvigovanja gladine vode, zaradi zajezi

pot, ki pretezuje Roško cesto in napreduje na Mesarski ulici

drevored ob novo urejeni poti

zapornični objekt

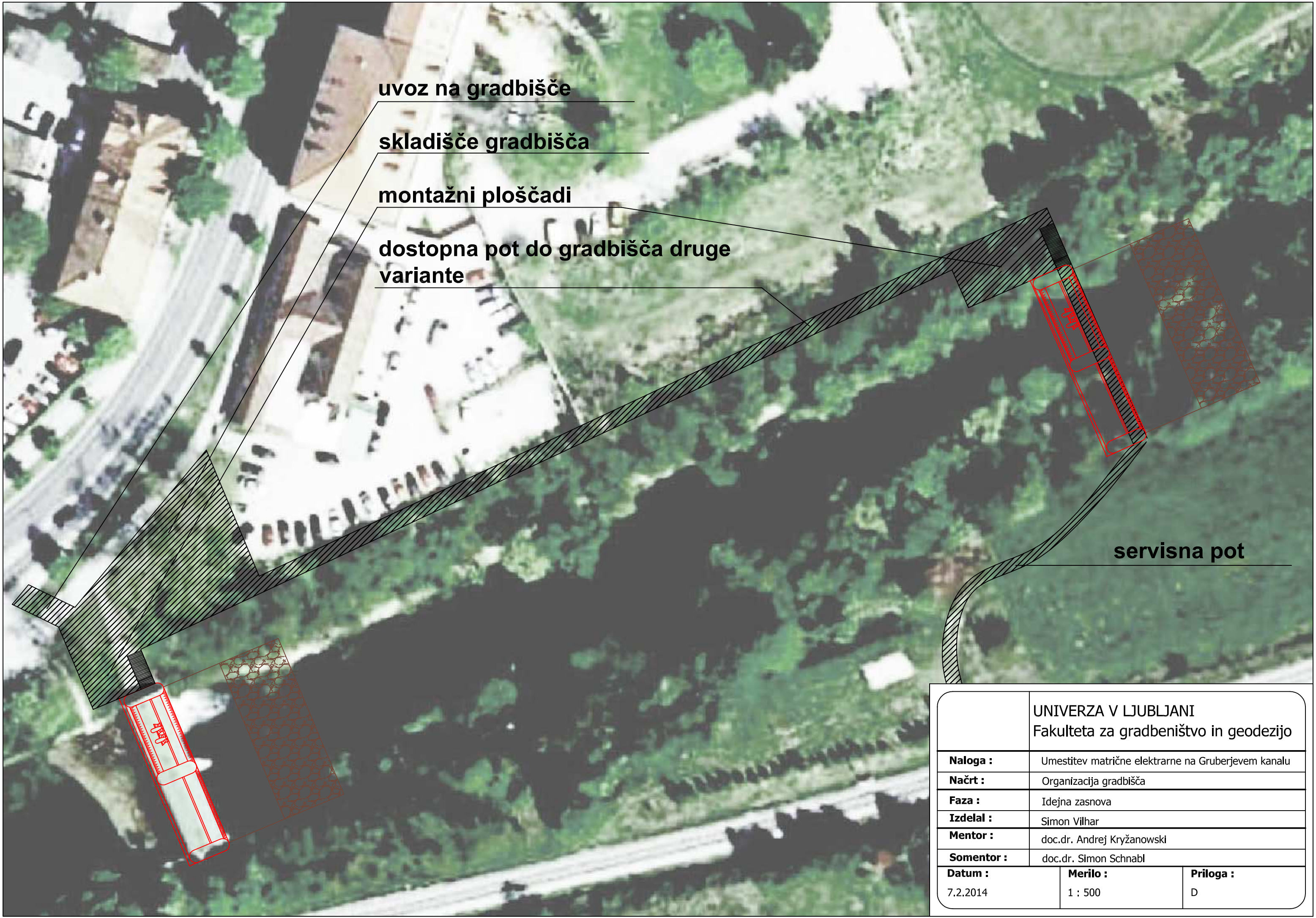
območje zaščite struge in brežin

vzdrževalna ploščad

povezovalna pot do Hrdeckega ceste

UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo		
Naloga :	Umestitev matrične elektrarne na Gruberjevem kanalu	
Načrt :	Situacija Varianta IIb	
Faza :	Idejna zasnova	
Izdelal :	Simon Vilhar	
Mentor :	doc.dr. Andrej Kryžanowski	
Somentor :	doc.dr. Simon Schnabl	
Datum :	Merilo :	Priloga :
7.2.2014	1 : 250	C3

PRILOGA D: Načrt organizacije gradbišča



uvoz na gradbišče

skladišče gradbišča

montažni ploščadi

dostopna pot do gradbišča druge
variente

servisna pot

UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo		
Naloga :	Umestitev matrične elektrarne na Gruberjevem kanalu	
Načrt :	Organizacija gradbišča	
Faza :	Idejna zasnova	
Izdelal :	Simon Vilhar	
Mentor :	doc.dr. Andrej Kryžanowski	
Somentor :	doc.dr. Simon Schnabl	
Datum :	Merilo :	Priloga :
7.2.2014	1 : 500	D

PRILOGA E: Pridobljena energija

Preglednica E1: Izračun pridobljene energije – obstoječa zapornica

Preglednica E2: Izračun pridobljene energije – nova zapornica 2 polji

Preglednica E3: Izračun pridobljene energije – nova zapornica 3 polja

Graf E1: Proizvodnja energije – nova zapornica, 2 polji, pretočnost elektrarne 10 m³/s

Graf E2: Proizvodnja energije – nova zapornica, 2 polji, pretočnost elektrarne 20 m³/s

Preglednica E1: Izračun pridobljene energije – obstoječa zapornica

Zapornica na obstoječi lokaciji z dvema poljema in pretokom elektrarne 10 m³/s
2 polji 10 m³/s

pretok Moste	Pretok Ljubljana	Pretok Gruber	Pretok turbina	trajanje (dan)	h zgoraj (m)	h spodaj (m)	padec (m)	moč (kW)	št. obr. dni	dnevna proizvodnja (kWh)	skupaj proizvodnja (kWh)	skupaj cena (€)
0	0	0	0	365				0	0.0	0		
5	3	2	0	351	3.6	0	3.6	0	0.0	0	0	0 €
7.5	5	2.5	0	345	3.6	0.3	3.3	0	0.0	0	0	0 €
10	5	5	5	340	3.6	0.4	3.2	128	17.0	3,070	0	0 €
12.5	5	7.5	7.5	323	3.6	0.6	3	180	16.2	4,317	62,866	5,822 €
15	5	10	10	307	3.6	0.7	2.9	232	32.8	5,565	79,928	7,402 €
20	5	15	15	274	3.6	0.8	2.8	224	33.2	5,373	179,287	16,604 €
25	5	20	20	241	3.6	0.9	2.7	216	13.9	5,181	174,962	16,203 €
27.5	7.5	20	10	227	3.6	0.9	2.7	216	14.2	5,181	71,922	6,661 €
30	10	20	10	213	3.6	0.9	2.7	216	18.8	5,181	73,649	6,821 €
35	15	20	10	194	3.6	0.9	2.7	216	19.0	5,181	97,319	9,013 €
40	20	20	10	175	3.6	0.9	2.7	216	20.0	5,181	98,436	9,116 €
45	25	20	10	155	3.6	0.9	2.7	216	18.9	5,181	103,617	9,596 €
50	30	20	10	136	3.6	0.9	2.7	216	20.1	5,181	97,725	9,050 €
65	45	20	10	116	3.6	0.9	2.7	216	18.5	5,181	104,328	9,662 €
70	50	20	10	97	3.6	0.9	2.7	216	20.5	5,181	95,897	8,881 €
85	65	20	10	77	3.6	0.9	2.7	216	11.2	5,181	106,157	9,831 €
95	75	20	10	66	3.6	0.9	2.7	216	9.8	5,181	57,904	5,362 €
105	75	30	0	56	3.6	1.6	2	0	0.0	0	25,447	2,357 €
115	75	40	0	49	3.6	1.7	1.9	0	0.0	0	0	0 €
120	75	45	0	46	3.6	1.7	1.9	0	0.0	0	0	0 €
125	75	50	0	38	3.6	1.8	1.8	0	0.0	0	0	0 €
										284.0	0	0 €
											1,429,445	132,381 €

Zapornica na obstoječi lokaciji z dvema poljema in pretokom elektrarne 20 m³/s
2 polji 20 m³/s

pretok Moste	Pretok Ljubljana	Pretok Gruber	Pretok turbina	trajanje (dan)	h zgoraj (m)	h spodaj (m)	padec (m)	moč (kW)	št. obr. dni	dnevna proizvodnja (kWh)	skupaj proizvodnja (kWh)	skupaj cena (€)
0	0	0	0	365				0	0.0	0		
5	3	2	0	351	3.6	0	3.6	0	0.0	0	0	0 €
7.5	5	2.5	0	345	3.6	0.3	3.3	0	0.0	0	0	0 €
10	5	5	5	340	3.6	0.4	3.2	128	17.0	3,070	0	0 €
12.5	5	7.5	7.5	323	3.6	0.6	3	180	16.2	4,317	62,866	5,822 €
15	5	10	10	307	3.6	0.7	2.9	232	32.8	5,565	79,928	7,402 €
20	5	15	15	274	3.6	0.8	2.8	336	33.2	8,059	223,322	20,682 €
25	5	20	20	241	3.6	0.9	2.7	432	13.9	10,362	305,388	28,282 €
27.5	5	22.5	20	227	3.6	1	2.6	416	14.2	9,978	141,181	13,075 €
30	5	25	20	213	3.6	1.1	2.5	400	18.8	9,594	139,116	12,883 €
35	5	30	20	194	3.6	1.2	2.4	384	19.0	9,210	176,616	16,356 €
40	5	35	20	175	3.6	1.3	2.3	368	20.0	8,827	171,352	15,869 €
45	5	40	20	155	3.6	1.4	2.2	352	18.9	8,443	172,695	15,993 €
50	10	40	20	136	3.6	1.4	2.2	352	20.1	8,443	159,256	14,749 €
65	25	40	20	116	3.6	1.4	2.2	352	18.5	8,443	170,016	15,745 €
70	30	40	20	97	3.6	1.4	2.2	352	20.5	8,443	156,276	14,473 €
85	45	40	20	77	3.6	1.4	2.2	352	11.2	8,443	172,996	16,021 €
95	55	40	20	66	3.6	1.4	2.2	352	9.8	8,443	94,362	8,739 €
105	65	40	20	56	3.6	1.4	2.2	352	7.0	8,443	82,939	7,681 €
115	75	40	20	49	3.6	1.4	2.2	352	3.0	8,443	59,100	5,473 €
120	75	45	0	46	3.6	1.7	1.9	0	0.0	0	12,664	1,173 €
125	75	50	0	38	3.6	1.8	1.8	0	0.0	0	0	0 €
										294.0	0	0 €
											2,380,074	220,419 €

Pretok Moste
Pretok Ljubljana
Pretok Gruber
Pretok turbina
trajanje (dan)
h zgoraj (m)
h spodaj (m)
padec (m)
moč (kW)
št. obr. dni
dnevna proizvodnja (kWh)
skupaj proizvodnja (kWh)
skupaj cena (€)

krivulja trajanja - podatek je dobljen na osnovi hidroloških raziskav
pretok, ki se prevaja po Mestni Ljubljani
pretok, ki se prevaja po Gruberjevem prekopu mimo turbine
pretok, ki se prevaja preko turbine
trajanje pretokov v dneh
nivo vode gorvodno
nivo vode dolvodno
bruto padec: h zgoraj - h spodaj
moč: $9.81 \cdot \text{padec} \cdot Q_{\text{gruber}} \cdot \text{nizgub}$
št obratovalnih dni $P_i = D_i - D_{i+1}$
moč*št. Obratovalnih ur
povprečna proizvodnja v posameznem intervalu: $R_i = (Q_{i-1} + Q_i) / 2 \cdot P_i - 1$
cena energije: $E_i \times 0.09216 \text{ EUR}$

Preglednica E2: Izračun pridobljene energije – nova zapornica 2 polji

Prestavljena zapornica z dvema poljema in pretokom elektrarne 10 m³/s
2 polji 10 m³/s

pretok Moste	Pretok Ljubljana	Pretok Gruber	Pretok turbina	trajanje (dan)	h zgoraj (m)	h spodaj (m)	padec (m)	moč (kW)	št. obr. dni	dnevna proizvodnja (kWh)	skupaj proizvodnja (kWh)	skupaj cena (€)
0	0	0	0	365				0	0.0	0		
5	3	2	0	351	3.75	0	3.75	0	0.0	0	0	0 €
7.5	5	2.5	0	345	3.75	0.3	3.45	0	0.0	0	0	0 €
10	5	5	5	340	3.75	0.4	3.35	134	17.0	3,214	0	0 €
12.5	5	7.5	7.5	323	3.75	0.6	3.15	189	16.2	4,533	65,928	6,106 €
15	5	10	10	307	3.75	0.7	3.05	244	32.8	5,852	84,002	7,779 €
20	5	15	10	274	3.75	0.8	2.95	236	33.2	5,661	188,723	17,478 €
25	5	20	10	241	3.75	0.9	2.85	228	13.9	5,469	184,505	17,087 €
27.5	7.5	20	10	227	3.75	0.9	2.85	228	14.2	5,469	75,918	7,031 €
30	10	20	10	213	3.75	0.9	2.85	228	18.8	5,469	77,741	7,200 €
35	15	20	10	194	3.75	0.9	2.85	228	19.0	5,469	102,725	9,513 €
40	20	20	10	175	3.75	0.9	2.85	228	20.0	5,469	103,905	9,623 €
45	25	20	10	155	3.75	0.9	2.85	228	18.9	5,469	109,374	10,129 €
50	30	20	10	136	3.75	0.9	2.85	228	20.1	5,469	103,154	9,553 €
65	45	20	10	116	3.75	0.9	2.85	228	18.5	5,469	110,124	10,199 €
70	50	20	10	97	3.75	0.9	2.85	228	20.5	5,469	101,224	9,374 €
85	65	20	10	77	3.75	0.9	2.85	228	11.2	5,469	112,054	10,377 €
95	75	20	10	66	3.75	0.9	2.85	228	9.8	5,469	61,121	5,660 €
105	75	30	0	56	3.75	1.6	2.15	0	0.0	0	26,861	2,488 €
115	75	40	0	49	3.75	1.7	2.05	0	0.0	0	0	0 €
120	75	45	0	46	3.75	1.7	2.05	0	0.0	0	0	0 €
125	75	50	0	38	3.75	1.8	1.95	0	0.0	0	0	0 €
										284.0	0	0 €
											1,507,361	139,597 €

Prestavljena zapornica z dvema poljema in pretokom elektrarne 20 m³/s
2 polji 20 m³/s

pretok Moste	Pretok Ljubljana	Pretok Gruber	Pretok turbina	trajanje (dan)	h zgoraj (m)	h spodaj (m)	padec (m)	moč (kW)	št. obr. dni	dnevna proizvodnja (kWh)	skupaj proizvodnja (kWh)	skupaj cena (€)
0	0	0	0	365				0	0.0	0		
5	3	2	0	351	3.75	0	3.75	0	0.0	0	0	0 €
7.5	5	2.5	0	345	3.75	0.3	3.45	0	0.0	0	0	0 €
10	5	5	5	340	3.75	0.4	3.35	134	17.0	3,214	0	0 €
12.5	5	7.5	7.5	323	3.75	0.6	3.15	189	16.2	4,533	65,928	6,105 €
15	5	10	10	307	3.75	0.7	3.05	244	32.8	5,852	84,002	7,779 €
20	5	15	15	274	3.75	0.8	2.95	354	33.2	8,491	235,118	21,772 €
25	5	20	20	241	3.75	0.9	2.85	456	13.9	10,937	322,089	29,825 €
27.5	5	22.5	20	227	3.75	1	2.75	440	14.2	10,554	149,173	13,813 €
30	5	25	20	213	3.75	1.1	2.65	424	18.8	10,170	147,299	13,640 €
35	5	30	20	194	3.75	1.2	2.55	408	19.0	9,786	187,429	17,356 €
40	5	35	20	175	3.75	1.3	2.45	392	20.0	9,402	182,289	16,880 €
45	5	40	20	155	3.75	1.4	2.35	376	18.9	9,019	184,208	17,058 €
50	10	40	20	136	3.75	1.4	2.35	376	20.1	9,019	170,114	15,753 €
65	25	40	20	116	3.75	1.4	2.35	376	18.5	9,019	181,608	16,817 €
70	30	40	20	97	3.75	1.4	2.35	376	20.5	9,019	166,931	15,458 €
85	45	40	20	77	3.75	1.4	2.35	376	11.2	9,019	184,791	17,112 €
95	55	40	20	66	3.75	1.4	2.35	376	9.8	9,019	100,795	9,334 €
105	65	40	20	56	3.75	1.4	2.35	376	7.0	9,019	88,594	8,204 €
115	75	40	20	49	3.75	1.4	2.35	376	3.0	9,019	63,130	5,846 €
120	75	45	0	46	3.75	1.7	2.05	0	0.0	0	13,528	1,253 €
125	75	50	0	38	3.75	1.8	1.95	0	0.0	0	0	0 €
										294.0	0	0 €
											2,527,027	234,003 €

Pretok Moste
Pretok Ljubljana
Pretok Gruber
Pretok turbina
trajanje (dan)
h zgoraj (m)
h spodaj (m)
padec (m)
moč (kW)
št. obr. dni
dnevna proizvodnja (kWh)
skupaj proizvodnja (kWh)
skupaj cena (€)

krivulja trajanja - podatek je dobljen na osnovi hidroloških raziskav
pretok, ki se prevaja po Mestni Ljubljani
pretok, ki se prevaja po Gruberjevem prekopu mimo turbine
pretok, ki se prevaja preko turbine
trajanje pretokov v dneh
nivo vode gorvodno
nivo vode dolvodno
bruto padec: h zgoraj - h spodaj
moč: $9.81 \cdot \text{padec} \cdot Q_{\text{gruber}} \cdot \text{nizgub}$
št obratovalnih dni $P_i = D_i - D_{i+1}$
moč*št. Obratovalnih ur
povprečna proizvodnja v posameznem intervalu: $R_i = (Q_{i-1} + Q_i) / 2 \cdot P_i - 1$
cena energije: $E_i \times 0.09216$ EUR

Preglednica E3: Izračun pridobljene energije – nova zapornica 3 polja

Prestavljena zapornica s tremi polji in pretokom elektrarne 20 m³/s
3 polja 20 m³/s

pretok Moste	Pretok Ljubljana	Pretok Gruber	Pretok turbina	trajanje (dan)	h zgoraj (m)	h spodaj (m)	padec (m)	moč (kW)	št. obr. dni	dnevna proizvodnja (kWh)	skupaj proizvodnja (kWh)	skupaj cena (€)
0	0	0	0	365								
5	3	2	0	351	3.75	0	3.75	0	0.0	0	0	0 €
7.5	5	2.5	0	345	3.75	0.3	3.45	0	0.0	0	0	0 €
10	5	5	5	340	3.75	0.4	3.35	142	17.0	3.411	0	0 €
12.5	5	7.5	7.5	323	3.75	0.6	3.15	200	16.2	4.811	69,973	6,480 €
15	5	10	10	307	3.75	0.7	3.05	259	32.8	6,211	89,155	8,257 €
20	5	15	15	274	3.75	0.8	2.95	375	33.2	9,012	249,542	23,110 €
25	5	20	20	241	3.75	0.9	2.85	484	13.9	11,608	341,849	31,659 €
27.5	5	22.5	20	227	3.75	1	2.75	467	14.2	11,201	158,324	14,662 €
30	5	25	20	213	3.75	1.1	2.65	450	18.8	10,794	156,336	14,478 €
35	5	30	20	194	3.75	1.2	2.55	433	19.0	10,386	198,928	18,423 €
40	5	35	20	175	3.75	1.3	2.45	416	20.0	9,979	193,473	17,918 €
45	5	40	20	155	3.75	1.4	2.35	399	18.9	9,572	195,509	18,106 €
50	5	45	20	136	3.75	1.5	2.25	382	20.1	9,165	176,709	16,365 €
65	5	60	20	116	3.75	1.7	2.05	348	18.5	8,350	176,346	16,331 €
70	10	60	20	97	3.75	1.7	2.05	348	20.5	8,350	154,555	14,313 €
85	25	60	20	77	3.75	1.7	2.05	348	11.2	8,350	171,091	15,845 €
95	35	60	20	66	3.75	1.7	2.05	348	9.8	8,350	93,322	8,643 €
105	45	60	20	56	3.75	1.7	2.05	348	7.0	8,350	82,025	7,596 €
115	55	60	20	49	3.75	1.7	2.05	348	3.0	8,350	58,449	5,413 €
120	60	60	20	46	3.75	1.7	2.05	348	8.3	8,350	25,050	2,320 €
125	65	60	20	38	3.75	1.7	2.05	348	5.7	8,350	69,582	6,444 €
135	75	60	20	32	3.75	1.7	2.05	348	6.0	8,350	47,316	4,382 €
165	82.5	82.5	0	26	3.75	2.1	1.65	0	0.0	0	25,050	2,320 €
										314.0	0	0 €
											2,732,584	253,065 €

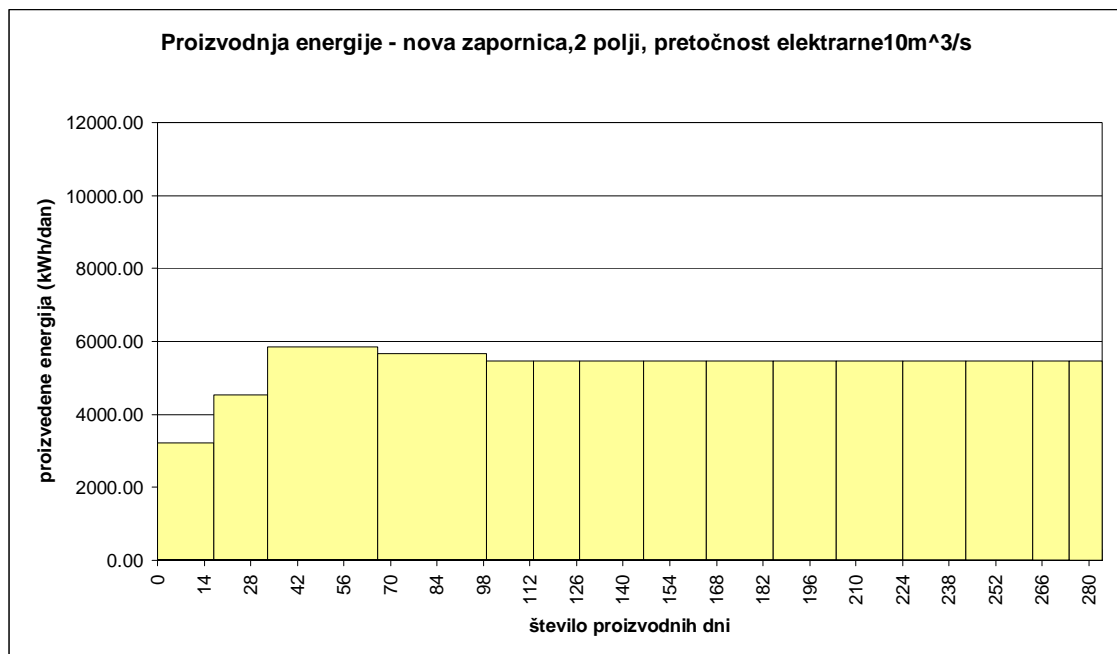
Prestavljena zapornica s tremi polji in pretokom elektrarne 10 m³/s
3 polja 10 m³/s

pretok Moste	Pretok Ljubljana	Pretok Gruber	Pretok turbina	trajanje (dan)	h zgoraj (m)	h spodaj (m)	padec (m)	moč (kW)	št. obr. dni	dnevna proizvodnja (kWh)	skupaj proizvodnja (kWh)	skupaj cena (€)
0	0	0	0	365				0	0.0	0		
5	3	2	0	351	3.75	0	3.75	0	0.0	0	0	0 €
7.5	5	2.5	0	345	3.75	0.3	3.45	0	0.0	0	0	0 €
10	5	5	5	340	3.75	0.4	3.35	142	17.0	3.411	0	0 €
12.5	5	7.5	7.5	323	3.75	0.6	3.15	200	16.2	4.811	69,973	6,480 €
15	5	10	10	307	3.75	0.7	3.05	259	32.8	6,211	89,155	8,257 €
20	5	15	10	274	3.75	0.8	2.95	250	33.2	6,008	200,301	18,550 €
25	5	20	10	241	3.75	0.9	2.85	242	13.9	5,804	195,825	18,135 €
27.5	5	22.5	10	227	3.75	1	2.75	233	14.2	5,601	79,162	7,331 €
30	5	25	10	213	3.75	1.1	2.65	225	18.8	5,397	78,168	7,239 €
35	5	30	10	194	3.75	1.2	2.55	216	19.0	5,193	99,464	9,211 €
40	10	30	10	175	3.75	1.2	2.55	216	20.0	5,193	98,671	9,138 €
45	15	30	10	155	3.75	1.2	2.55	216	18.9	5,193	103,864	9,619 €
50	20	30	10	136	3.75	1.2	2.55	216	20.1	5,193	97,958	9,072 €
65	35	30	10	116	3.75	1.2	2.55	216	18.5	5,193	104,577	9,685 €
70	40	30	10	97	3.75	1.2	2.55	216	20.5	5,193	96,125	8,902 €
85	55	30	10	77	3.75	1.2	2.55	216	11.2	5,193	106,410	9,855 €
95	65	30	10	66	3.75	1.2	2.55	216	9.8	5,193	58,042	5,375 €
105	75	30	10	56	3.75	1.2	2.55	216	7.0	5,193	51,016	4,725 €
115	75	40	0	49	3.75	1.7	2.05	0	0.0	0	18,176	1,683 €
120	75	45	0	46	3.75	1.7	2.05	0	0.0	0	0	0 €
125	75	50	0	38	3.75	1.8	1.95	0	0.0	0	0	0 €
										291.0	0	0 €
											1,546,888	143,257 €

Pretok Moste
Pretok Ljubljana
Pretok Gruber
Pretok turbina
trajanje (dan)
h zgoraj (m)
h spodaj (m)
padec (m)
moč (kW)
št. obr. dni
dnevna proizvodnja (kWh)
skupaj proizvodnja (kWh)
skupaj cena (€)

krivulja trajanja - podatek je dobljen na osnovi hidroloških raziskav
pretok, ki se prevaja po Mestni Ljubljani
pretok, ki se prevaja po Gruberjevem prekopu mimo turbine
pretok, ki se prevaja preko turbine
trajanje pretokov v dneh
nivo vode gorvodno
nivo vode dolvodno
bruto padec: h zgoraj - h spodaj
moč: $9.81 \cdot \text{padec} \cdot Q_{\text{gruber}} \cdot \text{nizgub}$
št obratovalnih dni $P_i = D_i - D_{i+1}$
moč*št. Obratovalnih ur
povprečna proizvodnja v posameznem intervalu: $R_i = (Q_{i-1} + Q_i) / 2 \cdot P_i - 1$
cena energije: $E_i \times 0.09216 \text{ EUR}$

Graf E1: Proizvodnja energije – nova zapornica, 2 polji, pretočnost elektrarne 10 m³/s



Graf E2: Proizvodnja energije – nova zapornica, 2 polji, pretočnost elektrarne 20 m³/s

